

Universidad Pública de Navarra

**ESCUELA TECNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS AGRONOMOS**

Nafarroako Unibertsitate Publikoa

**NEKAZARITZAKO INGENIARIEN
GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKOA**

*EMISIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO Y
AMONÍACO EN UNA EXPLOTACIÓN DE GALLINAS
PONEDORAS EN BIZKAIA*

presentado por

OIER ALBERDI ARRIETA k

aurkeztua

INGENIERO AGRONOMO
NEKAZARITZA INGENIARITZA

Julio, 2013 / 2013, uztaila

Universidad Pública de Navarra

**ESCUELA TECNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS AGRONOMOS**

Nafarroako Unibertsitate Publikoa


**NEKAZARITZAKO INGENIARIEN
GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKO**

TRABAJO FIN DE CARRERA de INGENIERO AGRONOMO

*“EMISIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO Y
AMONIACO EN UNA EXPLOTACIÓN DE GALLINAS
PONEDORAS EN BIZKAIA”*

Trabajo Final de Carrera presentado por OIER ALBERDI ARRIETA con el objeto de optar al título de Ingeniero Agrónomo, siendo su Directora Pilar Merino Pereda, Investigadora de NEIKER, Instituto Vasco de Investigación y Desarrollo Agrario.

Vº Bº del Directora del trabajo:



Fdo: Dra. Pilar Merino Pereda

Autor:



Fdo: Oier Alberdi Arrieta

Agradecimientos

Al proyecto “BATFARM Interreg-Atlantic Area Project (2009-1/071): Evaluation of best available techniques to decrease air and water pollution in animal farms” gracias al cual ha sido posible este estudio.

A Neiker y al Departamento de Agricultura del Gobierno Vasco, por la beca que me ha permitido participar en este estudio, así como a Larrabe oilategia.

A José Antonio, tutor de este proyecto: no sólo por haber aceptado este reto y haberme apoyado hasta el último “spring”, sino también por haberme acompañado a lo largo de la carrera.

A Pilar y a Haritz por haberme guiado y ayudado sin descanso, tanto en este trabajo como en el día a día en este último año y medio. Del mismo modo que mis compañeras de GHG, Diana y Maialen, a los del tupper y los demás compañeros de Neiker.

A Salva y Fernando, de los que aprendo por cada email que recibo y cada llamada que hago.

A mis compañeros y amigos de carrera ya que sin ellos los años en Pamplona no hubiesen sido los mismos.

A Javi, mi compañero de aventura por África con el que tantas cosas he compartido, entre otras el comienzo del que iba a ser el TFC que no fue.

A Gorriti, a Rio Queiles, a Via Battistig, a Alfonso el Batallador y sobre todo a Calceteros, y a todos sus pobladores, con los que conviví, eta oraindik orain nire bizitzaren parte direnei.

Nire kuadrilari, animoak emateagatik eta azken ordurarte arduratzeagatik, benetan asko estimatzen dut beraien laguntasuna.

Azkenik, nire familiari, beti konfidantza izan eta daukatelako nigan. Hartu ditudan erabaki eta bide guztietan alboan izan ditudalako beraien babesa emanaz eta azken batean ez nengokelako hemen beraien laguntza izan ez banu.

Nire alboan egon zarienoi, guztioi,

Eskerrik asko

Resumen

Emisión de gases de efecto invernadero y amoníaco en una explotación de gallinas ponedoras en Bizkaia

El amoníaco (NH_3) es uno de los principales gases contaminantes asociados con la producción de aves de corral. Por su repercusión en la calidad del aire que afecta tanto al medioambiente como a la salud de los animales y los trabajadores (Portejoie et al., 2002). Tanto la concentración como la emisión de NH_3 son generalmente más altas en la avicultura que en otras producciones animales. El CH_4 , el CO_2 y el N_2O son gases de efecto invernadero (GEI) están asociados con el calentamiento global y aunque la contribución de los sistemas de producción de aves de puesta es escasa, el volumen de dicha producción justifica cierto interés.

Una amplia bibliografía ha estudiado la generación de amoníaco en diferentes explotaciones, entre ellas la de gallinas de puesta, pero es de destacar que la amplia mayoría de ellas ha sido en el centro y norte de Europa donde el clima es más frío. En el caso de los gases de efecto invernadero, información escasa sobre estos a nivel de alojamiento, salvo algunos datos de emisión.

La investigación se ha llevada a cabo dentro de una explotación comercial de gallinas de puesta. La nave objeto de estudio, que está adaptada a la Directiva Europea de bienestar animal 1999/74/EC, cuenta aproximadamente con 52.000 gallinas Lohmann-Brown.

La concentración de gases efecto invernadero (CO_2 , CH_4 , N_2O) y amoníaco (NH_3), se ha registrado con un intervalo de 20 minutos durante un año utilizando el equipo fotoacústico INNOVA, midiéndose la concentración de gases en las entradas de aire y en las salidas.

El registro electrónico continuo de la activación de los ventiladores nos permite calcular el rango de ventilación, ya que a su vez se han calibrado los ventiladores para conocer el caudal real de cada uno de ellos.

Así mismo se ha registrado la temperatura y la humedad relativa han sido registradas mediante sondas, tanto en las entradas como en las salidas de aire de la nave cada 15 minutos. Finalmente se ha recogido la información relativa al manejo de la gallinaza y periódicamente se ha hecho un análisis químico de las heces y del pienso ingerido.

En el trabajo se ha cuantificado la emisión de GEI y NH_3 en una explotación de ponedoras y se han evaluado factores relativos al manejo que interfieren en dicha emisión, como pueden ser el manejo de la gallinaza, la ventilación o la alimentación.

Índice

Índice general

1) Introducción	1
a) Intensificación de la producción animal.....	1
b) Sector avícola de puesta	4
c) Implicaciones medioambientales de la producción animal	5
i) Emisiones de gases de origen ganadero	6
(1) Emisiones de amoníaco	7
(2) Emisiones de gases de efecto invernadero.....	8
(a) Emisiones de metano	8
(b) Emisiones de óxido nitroso	9
(c) Emisiones de dióxido de carbono	9
d) Marco Normativo	10
2) Objetivos:	12
3) Material y métodos.	13
a) Explotación avícola.....	13
i) Descripción de la nave	14
(1) Base animal.....	15
(2) Sistema de ventilación	15
b) Técnicas de medida.....	16
i) Concentración de gases	16
ii) Caudal de ventilación	18
(1) Método directo para el cálculo del caudal	19
iii) Temperatura y humedad relativa	20
iv) Otros controles	21
(1) Muestreo de pienso	21
(2) Muestreo de gallinaza.....	21
(3) Registros	22
(4) Producción de huevos.....	22
c) Tratamiento de datos.....	22
i) Bases de datos	22
(1) Normalización de datos	23

ii)	Cálculo de las emisiones	23
iii)	Análisis de datos	23
(1)	Análisis mensual y estacional de las emisiones gaseosas	23
(2)	Análisis de la frecuencia de extracción de la gallinaza sobre las emisiones gaseosas.....	24
(3)	Análisis de las emisiones de CH ₄ intra-día	24
4)	Resultados y discusión	25
a)	Parámetros productivos y ambientales	25
i)	Parámetros productivos	25
(1)	Censo	25
(2)	Producción de huevos.....	25
ii)	Alimentación	26
iii)	Excretas	27
iv)	Parámetros ambientales.....	29
(1)	Temperatura	29
(2)	Humedad	30
(3)	Ventilación	31
(a)	Calibración de los ventiladores.....	31
(b)	Tasas de ventilación a lo largo del estudio	32
b)	Amoníaco	34
i)	Emisión total	34
ii)	Influencia de la frecuencia de extracción de gallinaza.....	36
c)	Metano.....	39
i)	Emisión total	39
ii)	Variación de la emisión de CH ₄ a lo largo del día	41
iii)	Influencia de la ventilación y de la frecuencia de extracción de gallinaza.....	42
d)	Dióxido de Carbono.....	44
i)	Emisión total	44
e)	Óxido Nitroso	46
i)	Emisión total	46
5)	Conclusiones	48
6)	Bibliografía	49

7) Anexos	53
a) REMEDIA Workshop 2013	54
i) Abstract	54
ii) Diapositivas, presentación oral	58
b) RAMIRAN 2013	68
i) Abstract	68
ii) Poster	73
c) GGAA 2013	75
i) Abstract	75
ii) Poster	77

Índice de figuras

Figura 1. Densidad animal en la UE, expresada como número de unidades ganaderas por hectárea de Superficie Agraria Útil (SAU).....	2
Figuras 2 y 3: Carga ganadera total e intensiva por comarcas (Fuente: MAPA, 2001).....	3
Figura 4: Esquema de los posibles problemas generados por la actividad pecuaria.....	4
Figura 5: Detalle de la ubicación de la explotación “Larrabe Oilategia”	13
Figura 6. Nave de puesta en Larrabe.....	14
Figura 7: Detalle de jaula acondicionada según directiva 1999/74/CE.	15
Figura 8: Esquema del flujo de ventilación en planta.....	16
Figura 9. Ubicación de los captadores del equipo de medición de gases y de las sondas de humedad y de temperatura	17
Figura 10: Sistema de aparatos: Equipo fotoacústico, multisampler, bomba, CPU, refrigerador del sistema, generador de corriente de emergencia y detalle de un captador.	17
Figura 11: Esquema de funcionamiento del INNOVA 1412.....	18
Figura 12. Autómata registrador de tiempos de activación.	19
Figura 13. Anemómetro Testo 425 de hilo caliente y manómetro de presión diferencial Veris.....	19
Figura 14: Calibración de un ventilador y esquema de localización de los puntos de medida para la determinación de la velocidad media en un ventilador circular.	20
Figura 15: Registrador de temperatura y humedad relativa HOBO U12-013	20
Figura 16: Evolución del censo de la población y de la masa total de gallinas entre las 15 y 75 semanas de vida.	25
Figura 17: Evolución real y estimada del % de puesta	26
Figura 18: Materia seca y nitrógeno amoniacal respecto al momento de la limpieza de las cintas. ..	28
Figura 19: Promedio diario de temperatura del interior, de las entradas de aire y del exterior.	29
Figura 20: Promedio diario de la humedad relativa del interior, de las entradas de aire y del exterior.	30
Figura 21: Ejemplo de resultados de medidas de velocidad del aire (m s^{-1}) en la calibración de un ventilador.	31

Figura 22: Caudal de ventilación por gallina.....	32
Figura 23: Emisión y concentración de NH_3 a lo largo del estudio.	34
Figura 24. Emisiones de NH_3 tras la extracción de la gallinaza (media de los datos horarios de todo el período de medida).....	37
Figura 25: Valores teóricos de la emisión acumulada de NH_3 , en diferentes escenarios de frecuencia de extracción.	37
Figura 26: Emisión y concentración de CH_4 a lo largo del estudio.	39
Figura 27: Patrón de un día medio (valores de medias horarias, calculadas como % del valor medio diario) de cada mes, de [o] tasa de ventilación, [■] Δ de concentración de CH_4 y [▲] emisión de CH_4	41
Figura 28: Modelo de las emisiones diarias de CH_4 (kg día^{-1}) en el periodo de agosto a octubre.....	42
Figura 29: Modelo de las emisiones diarias de CH_4 (kg día^{-1}) en el periodo de noviembre a diciembre.....	43
Figura 30: Emisión y concentración de CO_2 a lo largo del estudio.	44
Figura 31: Evolución de la emisión y concentración de CO_2 a lo largo del día.	44
Figura 32: Emisión y concentración de N_2O a lo largo del estudio.....	47

Índice de tablas

Tabla 1. Producción mundial de huevos, en toneladas.....	4
Tabla 2 Principales emisiones de explotaciones avícolas.....	6
Tabla 3: Niveles de ventilación.....	16
Tabla 4: Datos productivos por semanas de vida de las gallinas.....	26
Tabla 5: Composición en materias primas de los piensos de las fases 1 y 2.....	26
Tabla 6: Comparación entre concentración teórica y los resultados de las analíticas de pienso.....	27
Tabla 7: Resultados de las analíticas de gallinaza.....	27
Tabla 8: Temperatura interior, exterior y de entrada según la estación.....	30
Tabla 9: Humedad relativa, interior, exterior y de entrada, según la estación.....	31
Tabla 10: Comparación de flujos de aire a diferentes depresiones.....	32
Tabla 11: Caudal de ventilación según la estación.....	33
Tabla 12: Emisión y concentración de NH ₃ en las diferentes estaciones.....	35
Tabla 13: Temperatura (Tº) y humedad relativa (%HR) interior y exterior, tasa de ventilación, concentraciones de NH ₃ dentro y fuera del alojamiento, así como emisión de NH ₃	36
Tabla 14: Composición de la gallinaza.....	36
Tabla 15: Reducción de la emisión de NH ₃ (%), incrementando la frecuencia de la limpieza de la cinta (frecuencia simulada) frente al manejo del escenario de referencia.....	38
Tabla 16: Emisión y concentración de CH ₄ en las diferentes estaciones.....	40
Tabla 17: Emisión y concentración de CH ₄ en septiembre y diciembre.....	41
Tabla 18: Media y desviación estándar de los registros ambientales y medidas de CH ₄ de ambos períodos.....	42
Tabla 19: Emisión y concentración de CO ₂ en las diferentes estaciones.....	45
Tabla 20: Emisión y concentración de N ₂ O en las diferentes estaciones.....	46

Introducción

Intensificación de la producción animal

Tradicionalmente la ganadería ha estado y sigue estando en gran parte del mundo dominada por explotaciones familiares. En Europa, la producción avícola y porcina se consideraba complementaria dentro de granjas mixtas en las que la producción agrícola se compaginaba normalmente con la explotación de algún tipo de rumiante. Dentro del funcionamiento lógico de dichos sistemas la cantidad de “inputs” era pequeña, produciéndose los piensos localmente y utilizando todo residuo generado por el ganado como abono para los cultivos propios.

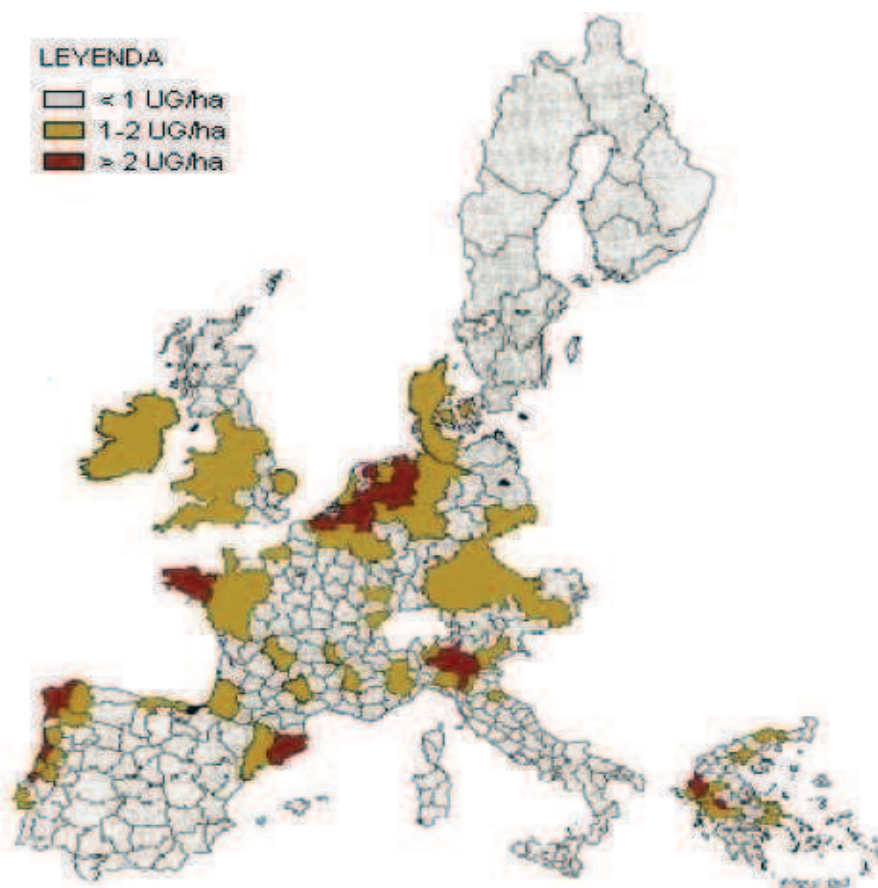
Esta situación cambió en los años sesenta y principios de los setenta, dando paso a la intensificación de la producción animal, con elevado número de animales y con un mayor tamaño de las explotaciones. Por razones socio-económicas, la producción europea de ganado es cada vez más intensiva, con especialización y mecanización que lleva a un modelo de grandes explotaciones (Burton y Turner, 2003; Petersen y col., 2013). La mayor demanda del mercado, el desarrollo de material genético y de los equipos de explotación, así como la disponibilidad de piensos, han llevado al sector a especializarse, llegando a la situación actual en la que en la UE el tipo de granjas tradicionales es residual.

Los sistemas intensivos dominantes se pueden dividir en tres categorías de animales: vacuno lechero, cerdos y aves de corral. Este tipo de explotaciones habitualmente se encuentra desligado de una base territorial, en este sentido solamente el 10% de la alimentación se produce en la propia granja (Kruska y col., 2003).

El desacoplamiento geográfico de la producción de alimentos para el ganado y la producción animal, trae consigo un problema de concentración de nutrientes en las zonas ganadería intensiva (Petersen y col., 2013). La concentración de animales en si se considera un indicador bruto de la cantidad de estiércol animal producido por el ganado.

Una elevada concentración indica normalmente que el suministro de minerales supera los requisitos de la zona (BREF, 2004). La figura 1 muestra la densidad animal (en Unidad de Ganado Mayor, UGM, por ha de superficie agraria útil, SAU) en Europa (UE-15), considerando todas las especies animales. La carga ganadera excede las 2 UGM/ha en la mayor parte de Holanda, en zonas de Alemania, Francia, Italia y algunas partes de España (Cataluña y Galicia) (García y col., 2010).

Las áreas con elevadas concentraciones de ganado normalmente tienen muchas explotaciones intensivas porcinas y avícolas, superando en muchos casos el 50%, o el 20% si nos referimos solamente a la avicultura. Regiones como el País de Loira, Bretaña, Cataluña o Este de Inglaterra son claros ejemplos (BREF, 2004).



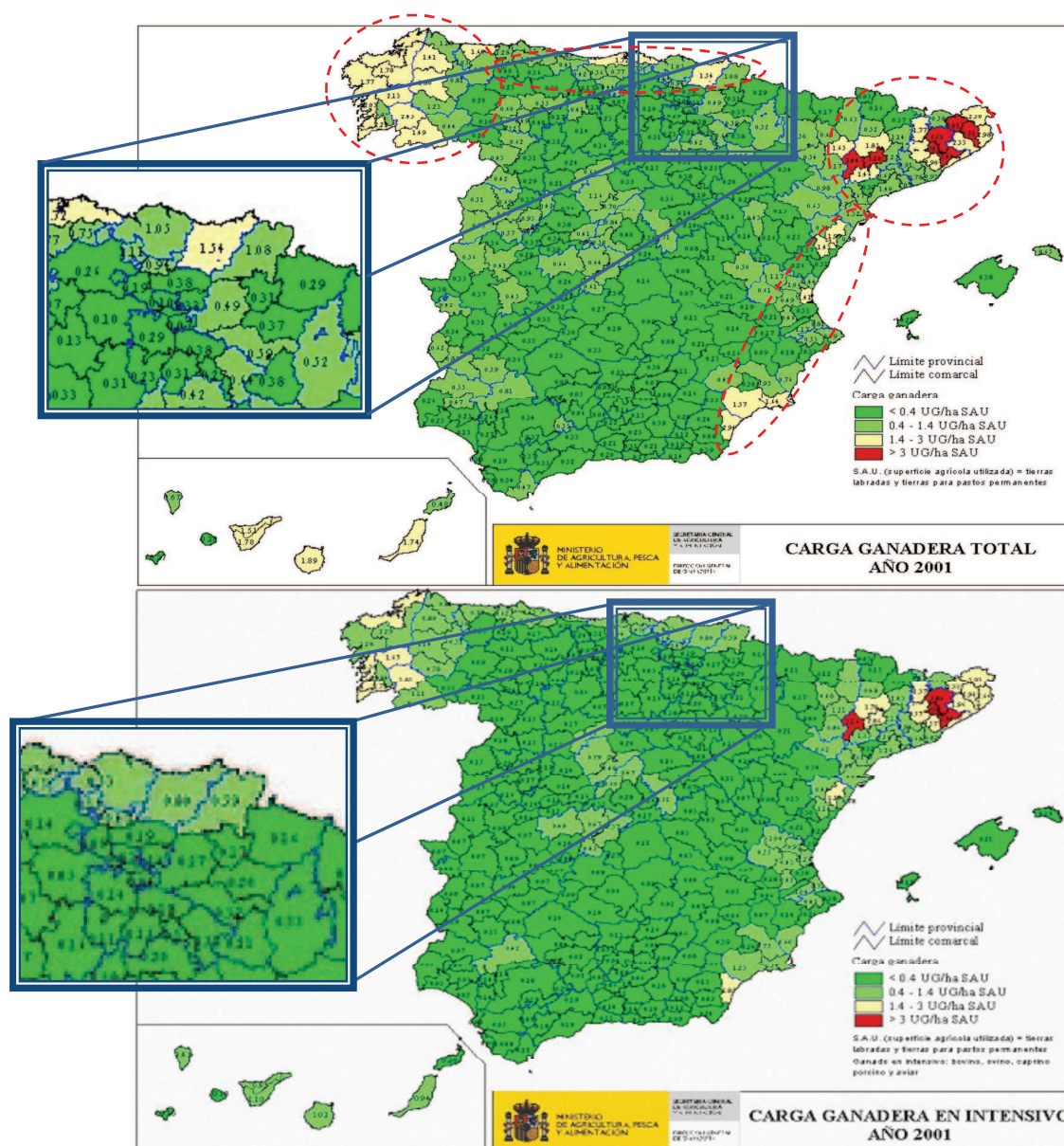
Fuente: EUROSTAT 2001

Figura 1. Densidad animal en la UE, expresada como número de unidades ganaderas por hectárea de Superficie Agraria Útil (SAU).

Aunque en Europa esta problemática medioambiental de la ganadería es de carácter general, resulta más grave en aquellos países con mayor carga ganadera y en este sentido conviene reseñar que si la producción ganadera se correlaciona con la superficie agraria, en el caso de España la carga ganadera es el 15% de la holandesa y en torno al 50% de la alemana y francesa.

No obstante, aunque estos datos globales parecen eliminar el problema medioambiental de la ganadería española, la realidad es que en algunas zonas puntuales se alcanzan elevadas cargas ganaderas, debido a un desarrollo desordenado de la ganadería, desintegrado del medio ambiente (García, 2010).

En las figuras 2 y 3 podemos apreciar como hay un foco de gran densidad en Cataluña, y en menor medida otros como la cornisa cantábrica, con especial importancia en Galicia; y algunas zonas del litoral mediterráneo.



Figuras 2 y 3: Carga ganadera total e intensiva por comarcas (Fuente: MAPA, 2001).

En lo que se refiere al entorno más cercano podemos observar que la carga ganadera total en Gipuzkoa y Cantabria es mayor que 1,4 UGM/ha SAU. Si nos centramos en la ganadería intensiva la situación cambia aunque en todo el litoral se aprecia una carga ganadera nada desdeñable situándose entre el 0,4 y el 1,4 UGM/ha SAU Cantabria, Bizkaia, los valles cantábricos de Álava, Gipuzkoa y el norte de Navarra (Figura 2 y 3).

Esta intensificación y concentración ha tenido una especial incidencia en la avicultura, que ha sufrido una gran industrialización de los sistemas de producción de huevos ha dado lugar a un aumento de las emisiones de contaminantes aéreos (Curtis y Drummond, 1982; Feddes y Licsko, 1993; Kristensen y col., 2000)

El sector avícola de puesta

Como se ha mencionado con anterioridad el sector avícola es uno de los más intensificados y también una de las producciones animales que más contribuye a la emisión de NH_3 , así como de otros contaminantes. Este sector cobra gran importancia debido a su gran volumen y a su amplia implantación mundial.

Prueba de esto es la producción mundial de huevos en el año 2011, que fue de 65 millones de toneladas. Como se puede observar en la tabla 1, la distribución de la producción es bastante heterogénea, concentrándose la mayor parte en Asia (58,8%), especialmente en China, con el 37,2% de la producción mundial. A continuación se encuentra la UE-25, con el 10,4% y Estados Unidos con el 8,3% (FAOSTAT, 2012).

Tabla 1: Producción mundial de huevos, en toneladas.

Producción de huevos de gallina en el año 2011			
Región	País	Producción (tn)	%
África		2.648.759	4,1
Asia		38.229.196	58,8
	China	24.148.680	37,2
América del Norte		5.856.664	9
	EEUU	5.419.450	8,3
América del Sur		4.201.994	6,5
Europa		10.638.591	16,4
Unión Europea		6.752.199	100
	Francia	839.500	12,4
	Alemania	777.100	11,5
	Italia	736.800	10,9
	Holanda	692.000	10,2
	Polonia	576.710	8,5
	Rumania	304.275	4,5
	España	830.000	12,3
	Reino Unido	662.000	9,8
Oceanía		277.642	0,4
Mundo		65.002.611	100

Fuente: FAOSTAT 2011

Europa se sitúa como segundo mayor productor de huevos de gallina a nivel mundial, situación consolidada en la que no se aprecian cambios significativos. Dentro de la UE el mayor productor es Francia, seguido de Alemania, España, Italia y Holanda respectivamente (FAOSTAT, 2012). Siendo este último el mayor exportador con un 65% de su producción (seguido de Francia, Italia, España respectivamente) y en el otro extremo se situaría Alemania como mayor consumidor. Pese a estas balanzas, la UE en su conjunto consume el 95% de su producción dentro de sus fronteras (BREF, 2004).

En lo referente a la Comunidad Autónoma del País Vasco (CAPV), la mayor producción de huevo de la zona, se concentrará en Bizkaia y Gipuzkoa, ya que albergan el 48% y el 41% de las gallinas ponedoras de la Comunidad Autónoma. Estas dos zonas a su vez son de densidad de animales considerables como ya se ha mencionado con anterioridad. La comarca de Mungia-Plentzia, donde se sitúa el estudio, es la más importante en CAPV ya que acoge el 31% del censo (EUSTAT, 2011).

La mayoría de estas explotaciones de gallinas ponedoras utilizan un sistema de producción en jaulas, si bien en la CAPV se pueden encontrar sistemas alternativos como los de corral, cría semi-intensiva, gallineros con salida libre o parque. Esta realidad se repite en la mayoría de regiones europeas (BREF, 2004).

Implicaciones medioambientales de la producción animal

Toda esta intensificación y concentración de las explotaciones trae consigo una serie de problemas medioambientales. Gran parte de ellos relacionados con las pérdidas de nutrientes (sobre todo nitrógeno) durante todo el proceso de producción.



Figura 4: Esquema de los posibles problemas generados por la actividad pecuaria

La eficiencia en el aprovechamiento de N por parte de los animales es baja. Así, el 60% y 70% del N ingerido no es aprovechado en cerdos de engorde y gallinas ponedoras, y del 70% al 90%, en función de la etapa fisiológica, en el ganado vacuno (Peyraud et al., 2012).

El estiércol y purín generado se utiliza normalmente como fertilizante orgánico en agricultura. La Directiva 91/676/EEC sobre nitratos estipula la aplicación máxima anual kg de nitrógeno por hectárea, aunque existen algunas excepciones que permiten tasas superiores para los cultivos con un alto potencial de absorción de N, así como dosis más restrictivas en zonas vulnerables.

La gestión sostenible de los nutrientes por lo tanto, es un desafío para las grandes explotaciones ganaderas con poca o ninguna base territorial (por ejemplo, una granja cerdos de engorde con 20 000

plazas requiere de 2 a 3000 ha de tierras de cultivo para la gestión sostenible del estiércol generado; Menzi et al, 2010).

En Europa, del 30% al 40% de las excretas de ganado se depositan durante el pastoreo y por lo tanto no se gestionan. El restante 60% a 70% se recoge en los sistemas de alojamiento, un porcentaje que tiende a aumentar. Los sistemas de manejo que producen estiércol sólido representan 20% a 30% de los excrementos, mientras que el resto se gestiona como purín que se almacena en fosas, tanques o balsas (Oenema et al., 2007). En la CAPV la gran mayoría de las explotaciones de ganado vacuno lechero y porcino gestionan los residuos como purín, mientras que el sector avícola lo hace como residuo sólido.

Emisiones de gases de origen ganadero

Sean las deyecciones sólidas o líquidas, las emisiones de GEI, directas e indirectas, se producen en todas las etapas de la gestión del estiércol. La mayoría de los gases producidos por la ganadería se generan como consecuencia de procesos naturales tales como el metabolismo animal y la degradación del estiércol. Su emisión depende de diferentes factores asociados al diseño y mantenimiento de las instalaciones, así como a la gestión que se realice durante los procesos de almacenamiento, tratamiento y reutilización agrícola de los estiércoles (Tabla 2). Por lo tanto es importante identificar estrategias de mitigación para ambas categorías (Petersen y col., 2013).

Tabla 2: Principales emisiones de explotaciones avícolas.

Emisiones al aire	Punto de producción
Amoniaco	Alojamientos animales, almacenamiento y aplicación en campo
Metano	Alojamientos animales, almacenamiento y tratamiento del estiércol
Óxido nitroso	Almacenamiento y aplicación de estiércol
Dióxido de carbono	Alojamientos animales, energía usada para iluminación, ventilación y transporte
Olor	Alojamientos animales, almacenamiento y aplicación en campo
Polvo	Preparación y almacenamiento del pienso, alojamientos animales, almacenamiento y aplicación de estiércol sólido

Fuente: Guía MTD

Los contaminantes del aire, como gases y partículas, en los gallineros pueden afectar negativamente a la calidad del aire e inciden en la salud y el bienestar de las aves, en la eficiencia de la producción y la sostenibilidad ambiental (Ni y col., 2012).

Controlar el entorno, particularmente la temperatura, humedad, calidad del aire, es crucial para el bienestar de las aves de corral (Dawkins y col., 2004). NI 2012

Emisiones de amoniaco

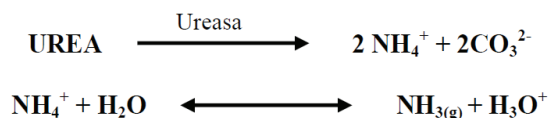
El amoníaco (NH_3) es uno de los principales gases contaminantes asociados a la avicultura. El NH_3 es un gas incoloro e irritante, altamente alcalino que se produce en la descomposición de la materia orgánica (Anderson y col., 1964). Otra de sus propiedades es la de ser soluble en agua, por lo que puede ser absorbida en las partículas de polvo así como en la mucosas, donde puede causar daños intracelulares (Visek, 1968; Oyetunde et al., 1978; Al-mashhadani y Beck, 1983) afectando no solo a la salud de las aves, sino también a la de los trabajadores (Portejoie y col., 2002). Los efectos potenciales de la mala calidad del aire en el bienestar de las aves implican interacciones complejas entre la fisiología, el comportamiento y la salud (Wathes, 1998; Kristensen y col., 2000).

La concentración y la emisión de gases en las granjas de puesta son generalmente más altas que en otras actividades pecuarias, como pueden ser, la producción de leche o la porcicultura. Numerosas explotaciones han sido objeto de extensos estudio en Europa debido a este problema (Nicholson y col., 2004; Brunsch y col., 2002; Gustaffsson, 2002; Von Wachenfelt y col., 2001; Koerkamp Groot y col., 1994, 1998)

Esta especial atención se debe entre otras cuestiones a los siguientes hechos:

- El sector agrícola es la mayor fuente de emisiones de NH_3 a la atmósfera: 80- 90% del total. Los aportes de nitrógeno a través del pienso ha provocado un gran incremento de las emisiones de NH_3 en los últimos 50 años.
- El NH_3 puede dañar los hábitats sensibles a niveles altos de nitrógeno y provoca acidificación y eutrofización.
- La importancia relativa del NH_3 se ha visto incrementada desde que las emisiones de otros gases responsables de la acidificación, como el dióxido de azufre o los óxidos de nitrógeno, se han reducido (40-80% en los últimos años).
- Se puede incidir en la producción del NH_3 mediante diferentes estrategias, con mayor facilidad que en el caso de otros gases.
- El NH_3 es también uno de los principales componentes asociados a los malos olores que causan molestias a las poblaciones cercanas.
- El NH_3 es responsable de la reducción del contenido de nitrógeno en el estiércol afectando negativamente a la capacidad fertilizante, lo que es especialmente relevante para la agricultura ecológica, donde está prohibido el uso de compuestos artificiales (Dekker y col., 2011).
- Consecuencias negativas sobre la salud de animales y trabajadores son fruto de la exposición a altas concentraciones y/o exposiciones prolongadas. Por ejemplo 4ppm, causan irritación ocular; 25ppm, irritación de tejidos sensibles por lo que hay países que regulan los tiempos de exposición (Malone, 2002)

El NH_3 procede de la descomposición de la urea que contiene la orina o en este caso la gallinaza. Las aves excretan ácido úrico, que tiende a transformarse rápidamente a urea.



Algunos factores que afectan a este equilibrio son la temperatura del estiércol, la temperatura ambiente, la ventilación, el pH del estiércol, su contenido en amonio y la superficie de contacto estiércol-aire. La alta humedad, en combinación con alta temperatura, promueve el crecimiento bacteriano. Dichas bacterias generan las enzimas que descomponen la materia orgánica, produciendo NH_3 en el proceso (Muck, 1981).

Esta generación de NH_3 en el interior de las explotaciones está muy influenciada por factores relacionados con el tipo de alojamiento y el manejo, la edad de las aves y la densidad, el manejo de las deyecciones, la tasa de ventilación o el tiempo de almacenamiento del estiércol en los alojamientos.

En el exterior las altas tasas de deposición de CH_3 pueden provocar la acidificación de suelos y eutrofización. Esta última afecta a la vegetación, conllevando la pérdida de especies, un desequilibrio de nutrientes, aumentando el riesgo de dañar la vegetación. La transformación de NH_3 en nitrato es llevado a cabo por bacterias nitrificantes en presencia de oxígeno. Estos nitratos pueden ser más tarde pueden sufrir lixiviación (Fangmeier, 1994).

Emisiones de gases de efecto invernadero

La contribución de los sectores avícola y porcino, incluido el manejo de los estiércoles, a la emisión de gases de efecto invernadero ha sido estimada, según el inventario nacional de gases con efecto invernadero, en algo más de un 20% del total de las emisiones procedentes de los sectores agrícola y ganadero. Este valor es inferior al de otros sectores ganaderos, en particular los rumiantes (36%).

Emisiones de metano

El metano (CH_4) es un gas con efecto invernadero que contribuye al cambio climático de la tierra. Se origina a partir de la descomposición anaerobia de compuestos orgánicos durante la fermentación entérica, un proceso digestivo que se presenta principalmente en los rumiantes o durante el almacenamiento del estiércol (Chepete y col., 2011; Fabbri y col., 2007).

La cantidad de metano producida por el animal depende principalmente de las características de los ingredientes de la dieta, especialmente de su contenido en fibra. Los niveles de producción en el caso de cerdos y aves son bajos. Para las gallinas ponedoras, se espera que las emisiones de CH_4 procedentes de la fermentación entérica sea insignificante, así las emisiones provienen principalmente

de estiércol almacenado en condiciones anaeróbicas (Fabbri y col., 2007). Además, en la práctica es difícil cambiar el contenido de fibra de la dieta de los animales monogástricos, ya de por sí baja.

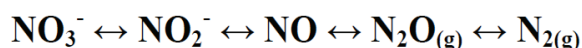
El estiércol de todos los animales puede producir metano, siempre y cuando esté bajo condiciones anaeróbicas. Cuando el estiércol es manejado en forma seca o depositado por los animales en pastoreo, no se producen cantidades importantes de metano, debido al contacto con el aire. La poca producción de este gas en este tipo de explotaciones conlleva que la literatura sobre las emisiones de metano procedentes de gallinas ponedoras unidades sea escasa.

La literatura científica existente compara diferentes sistemas de instalación, por ejemplo, suelo de yacija frente a las jaulas convencionales; o diferentes sistemas de gestión como pueden ser la frecuencia de la eliminación del estiércol o el método de secado en sistemas de alojamiento con cinta de extracción (Fabbri y col., 2007).

Emisiones de óxido nitroso

El óxido nitroso también contribuye al calentamiento global y es responsable de la destrucción del ozono estratosférico, siendo además muy persistente al permanecer en la atmósfera durante 150 años.

El N_2O es un producto intermedio de procesos de nitrificación y desnitrificación en condiciones de baja disponibilidad de oxígeno (Fournel y col., 2011; Fabbri y col., 2007; Chadwick y col., 1999). Este fenómeno ocurre de forma natural en el propio suelo en condiciones de suelos encharcados, arrozales, ...etc; por la acción de microorganismos anaerobios que transforman los nitratos a formas reducidas de nitrógeno (N_2O y N_2) que se eliminan a la atmósfera por su carácter volátil.



En las instalaciones ganaderas y durante el almacenamiento del estiércol también se produce desnitrificación, pero en menor cantidad que durante la aplicación del estiércol en el suelo.

Emisiones de dióxido de carbono

El dióxido de carbono es, junto a los dos gases mencionados en los apartados anteriores, el tercer gas más importante de efecto invernadero originado en la actividad ganadera. Se produce a través de procesos aeróbicos de degradación de compuestos orgánicos (respiración, metabolismo animal o compostaje, por ejemplo).

En el alojamiento de los animales, la mayoría de las emisiones de CO_2 se genera a partir de la respiración animal (96%) (Fournel y col., 2011; Steinfeld y col., 2006). Por ello el dióxido de carbono (CO_2), es un gas importante en alojamientos cerrados, ya que las concentraciones y las emisiones de CO_2 se pueden utilizar para estimar las tasas de ventilación (Ni y col., 2012; Liang et al, 2005; Koerkamp et al, 1998).

Marco Normativo

Aunque la producción ganadera en la UE ya está muy regulada, esto no incluye las emisiones de NH_3 y GEI, y por lo tanto existe la posibilidad de nuevas mejoras en la gestión del estiércol (Petersen y col. 2013). La intensificación y el cada vez mayor tamaño de las granjas ha llevado a la Unión Europea a tomar medidas para su regulación medioambiental.

El número de ponedoras por granja varía considerablemente, entre unos miles y varios cientos de miles. Se considera que sólo un número relativamente pequeño de granjas por estado miembro están por debajo del ámbito de la Directiva 2010/75/EU (Directiva de IED), esto es, con menos de 40.000 gallinas ponedoras. El número total de granjas en la UE que superan este umbral es de algo más de 2.000.

La anteriormente citada Directiva 2010/75/EU del Consejo, relativa a la prevención y al control integrado de la contaminación (IED); tiene por objeto evitar o, cuando ello no sea posible, reducir y controlar la contaminación mediante el establecimiento de un sistema de prevención y control integrados.

Esto significa considerar:

- Todas y cada una de las fases del proceso productivo
- El medio ambiente como un todo, debiéndose evitar la transferencia de contaminación de un medio (agua, suelo y atmósfera) a otro.
- Las particularidades de cada instalación y de cada medio ambiente receptor

Aunque el ámbito legal de la ley es exclusivamente la protección medioambiental, en su aplicación también se tienen en cuenta otros objetivos comunitarios, como garantizar la existencia de las condiciones necesarias para la competitividad de la industria comunitaria, contribuyendo con ello al desarrollo sostenible. En España la directiva precedente (Directiva 96/61/CE) fue transpuesta al ordenamiento jurídico por la Ley 16/2002, de 1 de julio, de Prevención y Control Integrados de la Contaminación.

Toda esta normativa ha tenido una repercusión en la obtención de la Licencia de Actividad ya que para conseguirla es necesaria la Autorización Ambiental Integrada, donde se fijarán los condicionantes ambientales exigibles y, entre otros aspectos, se especificarán los valores límite de emisión. Esto conlleva en práctica a la obligatoriedad de adoptar alguna Mejor Técnica Disponible (MTD) para mitigar las emisiones.

En julio de 2003, la Comisión Europea aprobó, de acuerdo con la Directiva 96/61/CE, relativa a la Prevención y Control Integrado de la Contaminación, el Documento de Referencia BREF, donde se pueden encontrar las MTD para la cría intensiva de porcino y aves realizado por un grupo de expertos de los estados miembros.

Por otra parte el Protocolo de Gothenburg de la CEPE (Comisión Económica para Europa) la Contaminación Atmosférica Transfronteriza (LRTAP) fija límites de emisión para cuatro contaminantes (NO_x , COVDM, SO_x y NH_3) que deben alcanzarse para el año 2010. El Protocolo ha sido firmado por la mayoría de los Estados miembros de la Unión Europea (con excepción de Estonia y Malta), y por los países del EEE Noruega y de Suiza.

La Directiva 2001/81/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2001, sobre techos nacionales de emisión de determinados contaminantes atmosféricos, obliga a los Estados miembros a evitar que sus emisiones de dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles no metánicos y amoníaco superen en el año 2010 unos niveles o techos determinados que son igual o más ambicioso que el Protocolo de techos de Gothenburg.

En el caso particular de España, la Directiva establece los siguientes techos nacionales de emisión:

- Dióxido de azufre SO_2 : 746 Kt
- Óxidos de nitrógeno NO_x : 847 Kt
- Compuestos orgánicos volátiles no metánicos COVNM: 662 Kt
- Amoníaco NH_3 : 353 Kt

Así mismo, la Directiva 2001/81/CE impone a los Estados miembros la elaboración de inventarios de emisiones, así como de programas de reducción progresivas dichas emisiones. España no ha alcanzado su objetivo de reducción dado que en 2010 su emisión fue de 391 kt de NH_3 .

La relevancia de la actividad ganadera en la emisión de NH_3 queda demostrada por el hecho de que el 80% del total de NH_3 en Europa y USA procede de residuos animales (CORINAIR, 2007).

En cuanto al marco regulatorio de gases invernadero, España es uno de los países que se comprometió a ejecutar una serie de medidas para reducir dichas emisiones mediante el protocolo de Kyoto suscrito en 1997. Como en el caso del NH_3 , existe la obligación de reportar las emisiones GEI procedentes de distintos sectores por los países firmantes. El inventario Español de GEI muestra que España no ha cumplido su objetivo de reducción de emisiones, siendo la agricultura responsable del 10.5% de dichas emisiones (España, informe inventario GEI 1990-2009, 2011).

El conocimiento preciso de las emisiones tanto de NH_3 como de GEI facilitaría la elaboración de los respectivos inventarios nacionales y ayudaría a establecer medidas de mitigación eficaces para su reducción.

Objetivos

Los objetivos que se pretenden lograr en este trabajo son:

- Cuantificar la emisión de gases de efecto invernadero y amoníaco en una explotación de ponedoras.
- Evaluar ciertos factores que intervienen en dicha emisión.

Material es y Métodos

Explotación avícola

El estudio se ha llevado a cabo en la explotación avícola “Larrabe Oilategia” ubicada en Gamiz-Fica, en Bizkaia (Figura 5).

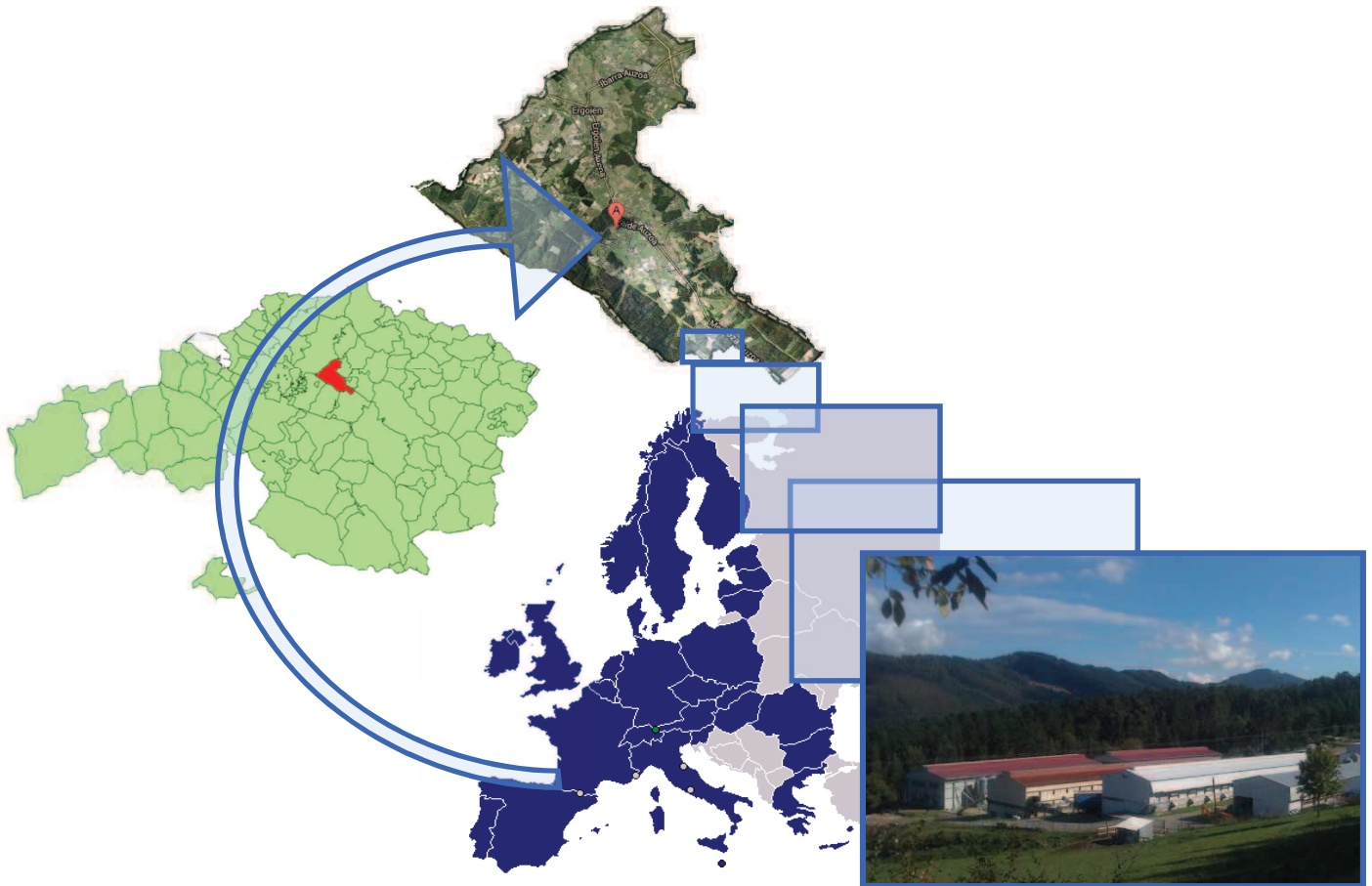


Figura 5: Detalle de la ubicación de la explotación “Larrabe Oilategia”

Esta explotación familiar fue fundada en 1960 con 15.000 gallinas y en la actualidad cuenta con más de 200.000 aves. Forma parte de la cooperativa de productores de huevos Ovo12, que se distribuye en la Comunidad Autónoma del País Vasco, la Comunidad Foral de Navarra y la provincia de Burgos. Esta cooperativa tiene una facturación 22 millones de euros (2009), por lo que esta agrupación puede considerarse como una de las más importantes de la zona.

Descripción de la nave

La nave, de 66 m de largo y 17 de ancho, alberga en torno a 51.000 gallinas ponedoras de la estirpe Lohman-Brown distribuidas en 6 filas de baterías, con 9 pisos de jaulas adaptadas a la Directiva 1999/74/CE.

La nave, se encuentra altamente mecanizada:

- La recogida de huevos se hace en dirección contraria a la de las excretas y mediante una noria elevadora son transportadas desde sus respectivos pisos a la cinta que las transporta hasta el centro de clasificación.
- El pienso se acumula en dos silos que mediante sin-fines se transporta hasta las 12 tolvas móviles, que reparten el pienso automáticamente 14 veces al día.
- El agua está disponible mediante los bebederos de tetina impidiendo así el desperdicio de agua y el incremento de humedad a la gallinaza acumulada bajo las jaulas.
- La gallinaza se acumula bajo las jaulas y su extracción se realiza mediante cintas mecanizadas (2 o 3 veces por semana) en 18 minutos.



Figura 6: Nave de puesta en Larrabe

La mencionada Directiva 1999/74/EC establece normas mínimas relativas a la protección de las gallinas ponedoras y se aplica en todas las explotaciones que superen las 350 aves. Los requisitos que deben cumplir las jaulas (Figura 7) son los siguientes:

- Cada gallina deberá disponer de:
 - Al menos 750 cm² de superficie de la jaula.
 - Un nido.
 - Una yacija que permita picotear y escarbar.
 - Un aseladero conveniente que ofrezca como mínimo un espacio de 15 cm.
- Un comedero que pueda ser utilizado sin restricciones; Su longitud deberá ser como mínimo de 12 cm por gallina.
- Cada jaula deberá disponer de bebederos apropiados de manera que cada gallina pueda acceder al agua necesaria.

- Las hileras de jaulas deberán estar separadas por pasillos de 90 cm de ancho como mínimo, y deberá haber un espacio de 35 cm como mínimo entre el suelo del establecimiento y las jaulas inferiores.
- Las jaulas estarán equipadas con dispositivos adecuados de recorte de uñas.

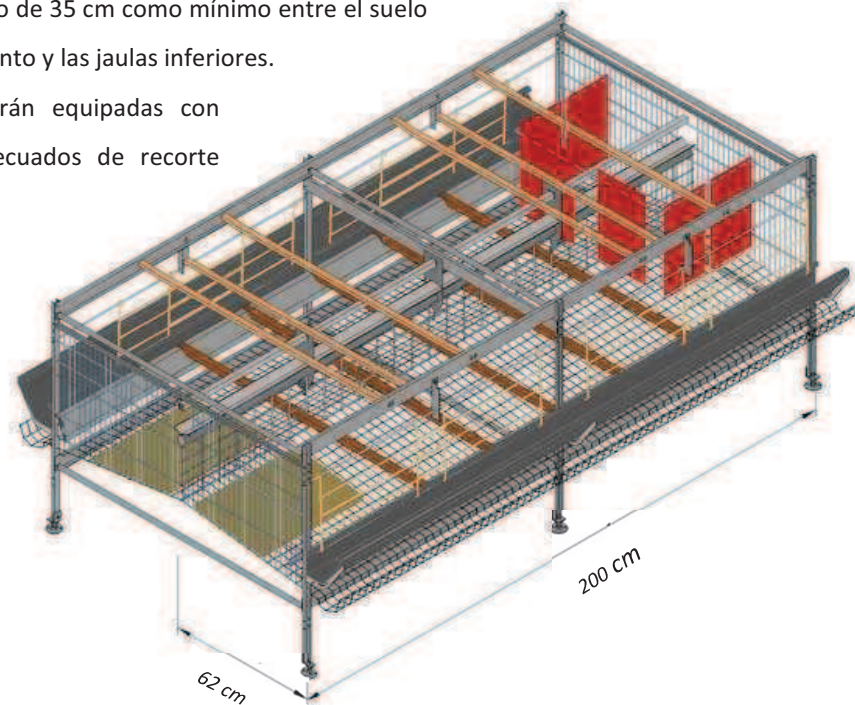


Figura 7: Detalle de jaula acondicionada según directiva 1999/74/CE.

Base animal.

Las gallinas alojadas en la nave son 51.000 ponedoras de la estirpe Lohmann-Brown que entraron en la nave el 18 de abril de 2012, con 19 semanas de edad y un índice de puesta del 6,1%.

Sistema de ventilación

La nave cuenta con 18 ventiladores trifásicos EM50n de 42.000 m³/h a 0 Pa, situados todos en un extremo frontal. Funcionan en 4 grupos que mediante diferentes combinaciones crean 9 niveles de ventilación (Tabla 3). La nave también consta de un sistema de refrigeración “cooling” que disminuye la temperatura del aire de entrada mediante paneles de evaporación de agua. Tanto los niveles de ventilación como el sistema de refrigeración son activados por un autómata (Macronew, Tecno Poultry Equipment) que cuenta con sensores distribuidos por la granja, encargándose así de regular la temperatura interna de la nave.

Tabla 3: Niveles de ventilación.

Nivel	% de activación	Nº de ventiladores	Rango de Tª (°C)	ΔT^a entre niveles (°C)
0	5,5	$\times = 1$	< 23,0	-
1	11,1	2	23,0 - 23,3	0,3
2	16,7	3	23,3 - 23,6	0,3
3	27,8	5	23,6 - 24,0	0,4
4	38,9	7	24,0 - 24,4	0,4
5	50,0	9	24,4 - 24,9	0,5
6	61,1	11	24,9 - 25,4	0,5
7	72,2	13	25,4 - 26,0	0,6
8	88,9	16	26,0 - 26,7	0,7
9	100,0	18	26,7 - 27,7	1
9+Cooling	100,0	18	< 27,7	-

Las entradas de aire se realizan a través de las ventanas de ambos laterales de la nave que ocupan más de 55 m de largo cada una y la ventana del fondo, opuesto al de los ventiladores que tiene una longitud de 17 m. Todas ellas están situadas en la parte superior de la nave y mientras que la del fondo se abre manualmente cuando el avicultor lo estima, las laterales son controladas por el autómata. La ventilación es de tipo túnel (Figura 8) aunque cuenta con un caballón central para casos de emergencia en los que sea necesaria una ventilación natural.

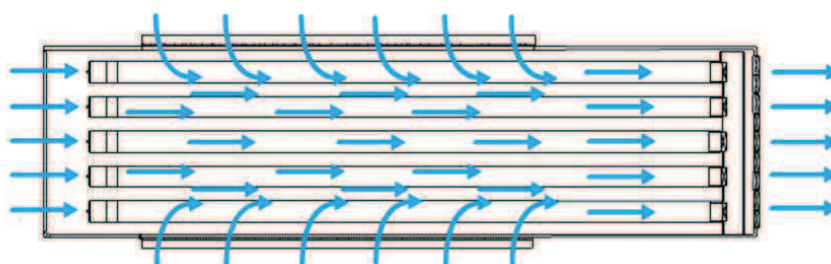


Figura 8: Esquema del flujo de ventilación en planta.

Técnicas de medida

El ensayo se estableció en enero del 2012, contando con 4 meses de control de los puntos de muestro y puesta a punto del equipo hasta la entrada del nuevo lote de gallinas en abril, fecha en la que comienza este estudio.

Concentración de gases

La medida de la concentración de gases se realiza mediante espectroscopia fotoacústica utilizando un equipo Innova 1412 (Lumasense, Denmark) equipado con un multiplexor Innova 1309, de tal forma que cada 20 minutos se mide la concentración de amoníaco (NH_3), metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), óxido nitroso (N_2O) y vapor de agua en cada uno de los 12 captadores repartidos por la nave.

Los captadores se distribuyen por la nave siguiendo el siguiente esquema: 2 en las ventanas manuales del fondo, 2 en cada una de las ventanas laterales, 4 en los ventiladores del piso superior y otros cuatro en los ventiladores de la parte inferior. En resumen esto supone que hay 4 puntos de entrada y 8 de salida (Figura 9).

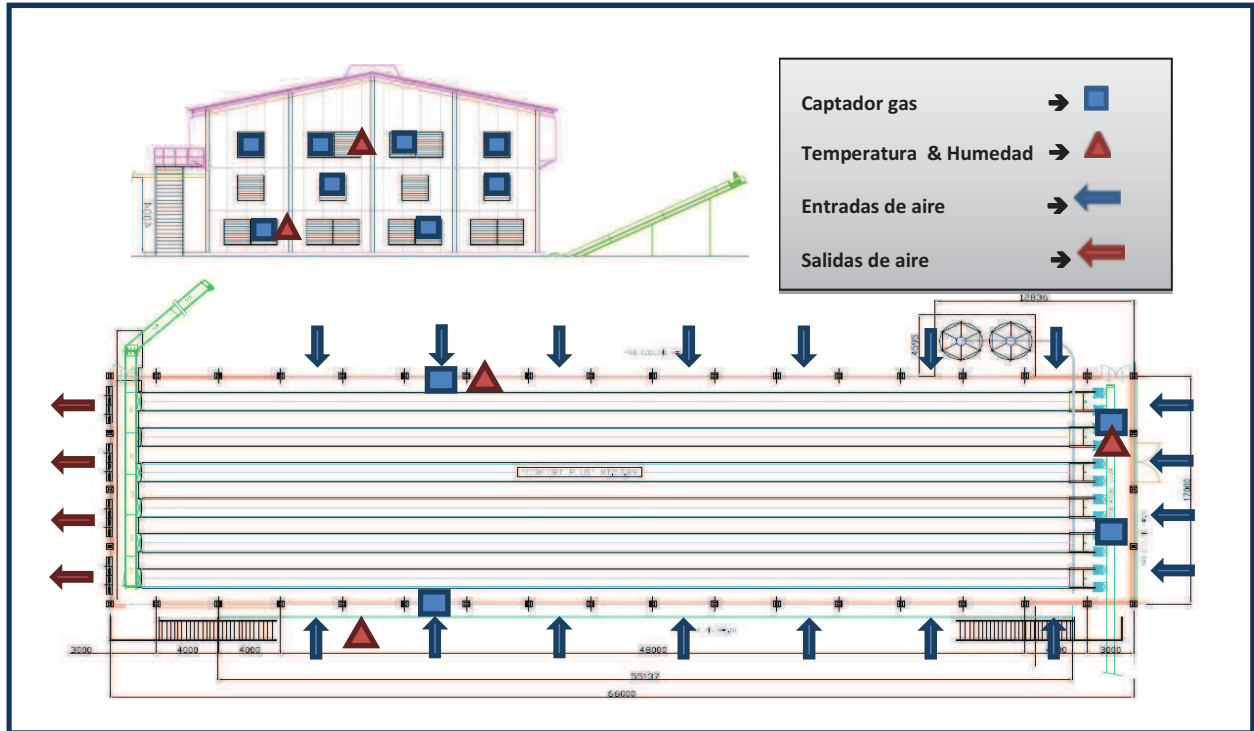


Figura 9: Ubicación de los captadores del equipo de medición de gases y de las sondas de humedad y de temperatura



Figura 10: Sistema de aparatos: Equipo fotoacústico, multisampler, bomba, CPU, refrigerador del sistema, generador de corriente de emergencia y detalle de un captador.

El complejo de aparatos está alojado en un armario refrigerado en una sala contigua a la nave. Una bomba succiona el aire de los diferentes canales a los que da paso el multiplexor dentro de una secuencia antes determinada (Figura 10). Este aire pasa al equipo fotoacústico, donde una bomba interna aspira aire desde el punto de muestreo y elimina el aire ya analizado del sistema de medición y lo sustituye por la muestra de aire nueva para analizar. La muestra de aire queda herméticamente aislada en la celda de análisis mediante el cierre de las válvulas de entrada y salida. La luz de una fuente de infrarrojo se refleja en un espejo, pasado a través de un interruptor mecánico, que es pulsante, y luego a través de uno de los filtros ópticos que hay en el carrusel.

La luz transmitida por el filtro óptico es absorbida selectivamente por el gas que está siendo monitorizado, causando que la temperatura del gas aumente. La temperatura del gas aumenta y disminuye debido a que la luz es pulsante, y esto provoca un aumento y disminución equivalente de la presión del gas (una señal acústica) en la celda estanca (Figura 11)

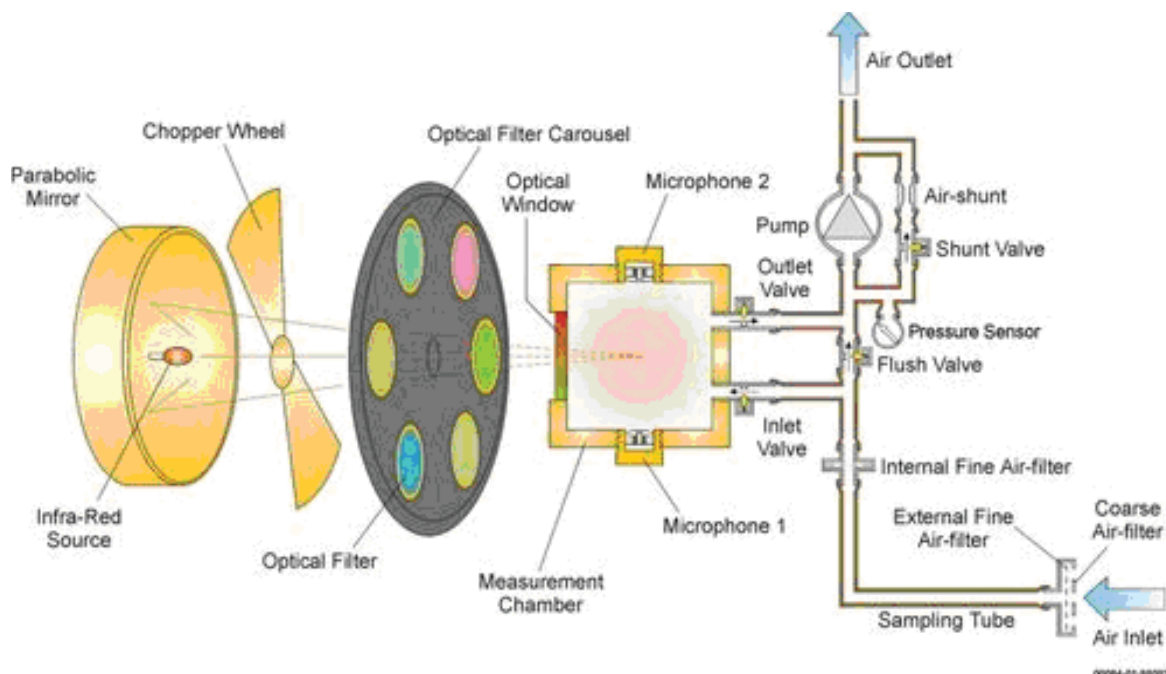


Figura 11: Esquema de funcionamiento del INNOVA 1412

Dos micrófonos instalados en las paredes de la celda miden esta onda de presión, que es directamente proporcional a la concentración del gas monitorizado presente en la celda. El carrusel de filtros gira para que la luz se transmita a través de los diferentes filtros ópticos. Si sólo hay un gas o vapor de agua se mide, y la muestra de gas se expulsa al exterior, el tiempo de medición es de aproximadamente de 30 segundos, y aproximadamente 105 segundos si se miden 5 gases y vapor de agua. El aumento de la longitud del tubo de muestreo aumenta el tiempo necesario para bombear en una nueva muestra de aire y por lo tanto aumenta el tiempo de medición.

Caudal de ventilación

Para calcular la renovación de aire en las naves normalmente se utilizan dos métodos: el balance de CO₂ y un método directo basado en registrar el porcentaje de actividad de los equipos.

El balance de CO₂ es un método muy extendido en este tipo de estudios ya que con los datos de concentración que nos da el medidor fotoacústico podemos llegar a calcular la masa de aire circulante. Estas estimaciones pueden ser muy útiles a grandes rasgos pero su exactitud puede no ser la adecuada a la hora de percibir pequeñas variaciones.

Método directo para el cálculo del caudal

El método directo, se considera más exacto por lo que se optó por este sistema para realizar el estudio. Para conocer el caudal de ventilación extraído por los ventiladores, por un lado se tiene que conocer el caudal extraído por cada uno de ellos y por otro lado el tiempo de funcionamiento de cada equipo.

La actividad de los ventiladores es medida cada segundo, registrándose cada 5 minutos el porcentaje de activación de cada equipo. Para este fin se utiliza un autómata (Binary Devices, Figura X). Este autómata dispone de 24 salidas digitales que permiten controlar los tiempos de activación de 24 equipos monofásicos o trifásicos alimentados por AC a la vez. Cada salida digital conectada en el contactor del equipo a controlar, es capaz de transducir la señal eléctrica en señales 0/1, de forma que la ausencia de corriente y por lo tanto la no actividad del equipo, es transducida como 0, mientras que la presencia de corriente y por lo tanto la actividad del equipo es transducida como 1. El autómata comprueba las entradas digitales cada segundo y cada cinco minutos hace un análisis del número de segundos en los que las entradas están activas hallando el tanto por ciento de activación total en ese periodo. Este dato se almacena en la memoria (Figura 12).



Figura 12: Autómata registrador de tiempos de activación.

Para medir el caudal extraído por los ventiladores se mide, en condiciones reales, la velocidad del aire en 25 puntos (Figura 14) en cada ventilador utilizando un anemómetro de hilo caliente Testo 425 y un estabilizador de aire de 30 cm de profundidad con una malla de hilos (Figura 13). Esta medida se hace durante 30 segundos en cada punto, dando el anemómetro el valor medio de ese período. Esto se repite en todos los ventiladores a varias presiones diferenciales (2-31 Pa), las cuales son registradas por un Datalogger HOBO U12-012 conectado a un manómetro Veris (Figura 13) con un intervalo de grabación de 5 minutos.



Figura 13: Anemómetro Testo 425 de hilo caliente y manómetro de presión diferencial Veris.

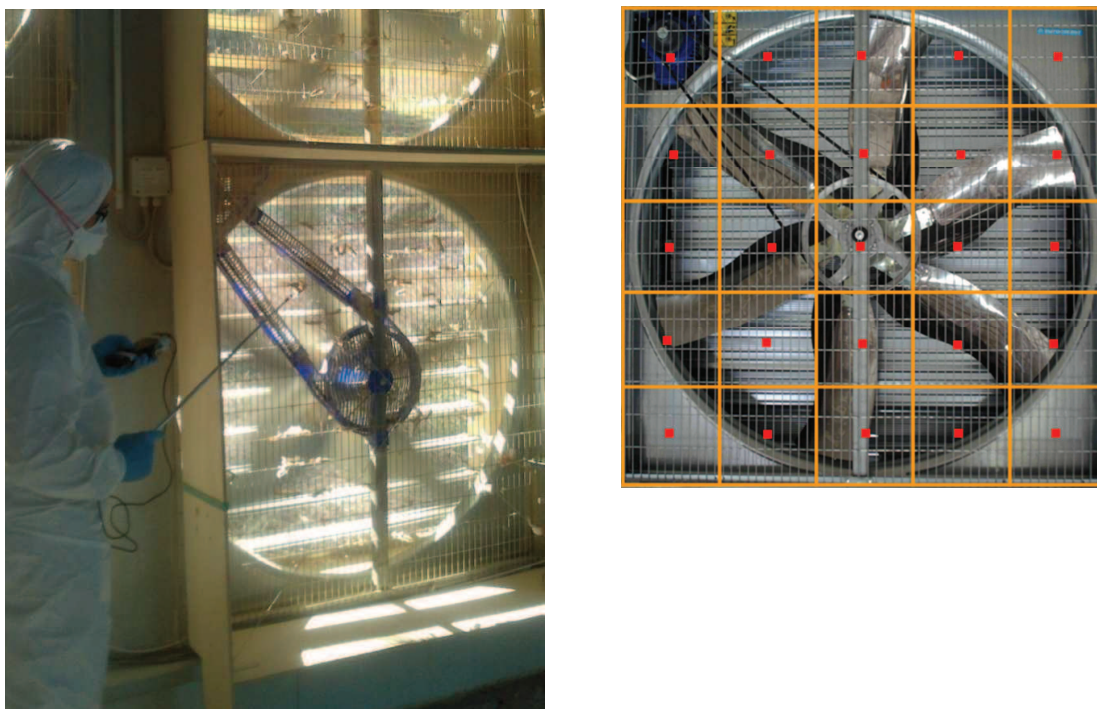


Figura 14: calibración de un ventilador y esquema de localización de los puntos de medida para la determinación de la velocidad media en un ventilador circular.

El caudal extraído por el ventilador se calcula según la siguiente fórmula:

$$Q = V \cdot S$$

Siendo: Q, caudal de aire extraído ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$), V, velocidad media ($\text{m} \text{h}^{-1}$) y S, superficie del ventilador (m^2).

La velocidad del aire es una media de cada uno de los 25 puntos a diferentes presiones y la superficie es el área de la caja estabilizadora por donde pasa el aire (Calvet y col., 2010; ASHRAE, 2001). Tras calcular el caudal de cada ventilador se multiplica por el tiempo que ha estado activo a lo largo de una hora. Tras sumar el caudal horario de todos los ventiladores se conoce el flujo de aire que se ha dado durante esa hora en la nave.

Temperatura y humedad relativa



Figura 15: Registrador de temperatura y humedad relativa HOBOT U12-013

Para registrar la temperatura y la humedad relativa se han colocado 5 registradores HOBOT U12-013 (Figura 15). Dos de ellos en las entradas de aires, uno en las ventanas manuales del fondo y otro en una de las ventanas automáticas de los laterales. Otros dos se sitúan junto a las salidas, uno a nivel de planta y el otro en el piso superior. El último está fuera de la nave. Los datos son almacenados cada 15 minutos ininterrumpidamente.

Otros controles

Muestreo de pienso

Quincenalmente se toman 3 muestras de pienso de 3 tolvas para determinar los siguientes parámetros que se analizan según los procedimientos que les acompañan:

- **Materia seca (MS):**
 - procedimiento basado en los métodos oficiales de análisis de piensos o alimentos para animales y sus materias primas. BOE num. 52 (2/3/95). ANEXO, punto nº 6, Humedad (Orden presidencial 2132/2005 (30 de junio) por la que se modifica el anexo del RD 2257/1994).
- **Cenizas:**
 - procedimiento basado en los métodos oficiales de análisis de piensos o alimentos para animales y sus materias primas. BOE num. 52 (2/3/95). ANEXO, punto nº 12, Cenizas brutas. (Orden presidencial 2132/2005 (30 de junio) por la que se modifica el anexo del RD 2257/1994).
- **Proteína bruta (PB):**
 - procedimiento basado en los métodos oficiales de análisis de piensos o alimentos para animales y sus materias primas. BOE num. 52 (2/3/95). ANEXO, punto nº 3, Proteína bruta (proteína total). (Orden presidencial 2132/2005 (30 de junio) por la que se modifica el anexo del RD 2257/1994).
- **Grasa bruta (GB):**
 - procedimiento basado en los métodos oficiales de análisis de piensos o alimentos para animales y sus materias primas. Real Decreto 609/1999 (16 de abril) por el que se modifica el real decreto 2257/1994 (25 de noviembre). BOE nº 103 (30/04/99). ANEXO, Método B. 4. Determinación de las materias grasas brutas.
- **Fibra (FB):**
 - procedimiento basado en los métodos oficiales de análisis de piensos o alimentos para animales y sus materias primas. BOE num. 52 (2/3/95). ANEXO, punto nº 7, Determinación de la fibra bruta (celulosa bruta). Orden presidencial 2132/2005 (30 de junio) por la que se modifica el anexo del RD 2257/1994.

Muestreo de gallinaza

Quincenalmente se toman 4 muestras de gallinaza de las cintas. Dos en el nivel superior y dos en el inferior, siendo una de ellas de la zona más cercana a los ventiladores y la otra de la zona más alejada. También se recogen periódicamente heces recién excretadas. De todas ellas se analizan:

- **Materia orgánica (MO) y Cenizas (CEN):**
 - procedimiento basado en los métodos oficiales de análisis de Fertilizantes (AFNOR, 1976. «Produits organiques». Supports et Milieux de culture. Norma U44 - 160.
- **Materia seca (MS):**
 - procedimiento basado en los métodos oficiales de análisis de Fertilizantes. Ministerio de Agricultura, Madrid 1974.
- **Nitrógeno total (N_{tot}) y Nitrógeno amoniacal (N_{amon}):**
 - Nitrógeno Total: procedimiento basado en los métodos oficiales de análisis de Fertilizantes. Ministerio de Agricultura, Madrid 1974.

- pH:
 - procedimiento basado en los métodos oficiales de análisis de Fertilizantes. Ministerio de Agricultura, Madrid 1974.

Registros

Todos los días exceptuando los domingos y festivos un operario de la explotación retira las bajas y las registra. Así tenemos un seguimiento de la mortalidad muy detallado.

Del mismo modo también se conoce la hora y el día exacto de cada una de las extracciones de gallinaza que se efectúan en la nave, pudiendo así controlar su influencia en las emisiones.

Producción de huevos

A través del ordenador de la sala de clasificación de huevos se registra el número de huevos semanales que producen las gallinas en la nave objeto de estudio.

Tratamiento de datos

Bases de datos

El equipo Innova 1412, como se ha mencionado con anterioridad, mide continuamente la concentración de NH_3 , CH_4 , CO_2 , N_2O , H_2O y presión, en 12 puntos y diariamente los registra en un archivo de texto (txt.), descargable vía modem, o directamente desde el equipo.

Los datos de concentración de gases se pasan del formato de origen a un formato Excel. Después se reorganizan y, mediante macros, se asigna a cada dato de concentración todos los datos que lo describen, obteniendo mensualmente un archivo Excel de alrededor de 500.000 datos. Una vez realizado esto se introducen la información en una nueva plantilla que genera una hoja de cálculo adaptada para el uso de tablas dinámicas.

Los datos de % de activación de los ventiladores, en cambio, se descargan en formato Excel mediante una aplicación (Bynari Devices) cada 10 días. Estos datos son agrupados por meses, generando un archivo mensual del orden de 250.000 datos.

Por otra parte, los datos de temperatura y humedad relativa se descargan mensualmente de cada uno de los 5 registradores mediante un programa propio de HOBO, que puede generar un archivo de texto (txt.) que más tarde se cambia a un formato Excel, que se reorganiza para poder trabajar con el. En este caso se generan unos 50.000 datos al mes.

Normalización de datos

Una vez que todos los registros están en archivos de cálculo agrupados por meses, se procede a normalizar los datos, para poder relacionarlos y tratarlos. Se ha establecido que la unidad mínima de trabajo respecto al tiempo sea la hora, por ello se condensan todos los datos hasta tener un solo dato por hora en cada uno de los variables. Esto se hace mediante tablas dinámicas y posteriormente se acumulan en nuevos documentos de cálculo en los que se trabaja. De esta forma el volumen de datos es más manejable, habiendo reducido la cantidad de datos y simplificado el formato inicial.

Antes de iniciar los cálculos es importante asegurarse de la bondad de los datos, para ello se chequean las bases de datos, rechazando los datos no válidos (outliers).

Cálculo de las emisiones

Para calcular las emisiones (E) en mg h^{-1} se debe seguir la siguiente fórmula:

$$E = (C_{\text{salida}} - C_{\text{entrada}}) \cdot Q$$

Donde C_{entrada} es la concentración del gas en el aire de entrada a la nave (mg m^{-3}), C_{salida} es la concentración del gas en el aire que se extrae de la nave (mg m^{-3}) y Q es el caudal de ventilación en $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ calculado de forma directa. Para hallar la emisión, en $\text{g día}^{-1} \text{ gallina alojada}^{-1}$ se utiliza la siguiente fórmula:

$$E = \frac{\sum_{\text{hora}}^{24} ((C_{\text{salida}} - C_{\text{entrada}}) \times Q) \times 10^{-3}}{N}$$

Donde C_{entrada} es la concentración del gas en el aire de entrada a la nave (mg m^{-3}), C_{salida} es la concentración del gas en el aire extraído de la nave (mg m^{-3}), Q es el caudal de ventilación en $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$, N es en este caso el nº de aves en el periodo estudiado, aunque se puede sustituir por el número de plazas de la nave, por el número de huevos o los kg de huevos producidos. También se pueden utilizar diferentes periodos, horario, diario, mensual, anual o ciclo productivo según convenga para la visión más clara de los resultados.

Análisis de datos

Los datos obtenidos en el presente estudio han sido tratados de manera diferenciada según el objetivo:

Análisis mensual y estacional de las emisiones gaseosas

Datos medios horarios y diarios han sido empleados para el cálculo mensual y estacional de la emisión de los gases, la concentración de dichos gases, las tasas de ventilación y las condiciones atmosféricas

Análisis de la frecuencia de extracción de la gallinaza sobre las emisiones gaseosas

Para conocer el efecto que tiene la frecuencia de extracción en la emisión de los gases se han gestionado los datos de 6 meses (junio-diciembre 2012) . Las emisiones calculadas se han referenciado en base horaria con respecto a la última fecha y hora en la cual se procede a la limpieza de las cintas. Debido a la acumulación de los gases en el interior de la nave y el tiempo necesario para su total eliminación, el valor de referencia o punto inicial de emisión ha sido establecido en el valor mínimo de concentración de los gases tras la limpieza de las cintas

Además, se realizó una simulación para ver la influencia que puede tener una reducción de los días de intervalo entre extracciones de la gallinaza. Se simularon intervalos de extracción de 1, 2, 3 y 4 días, para un periodo de 12, el valor más pequeño divisible por todos los intervalos propuestos. De esta forma se puede estimar el rango de la reducción de la emisión de los gases aumentando la frecuencia de las extracciones de gallinaza.

Análisis de las emisiones de CH₄ intra-día

Para ver el efecto que tiene la hora del día en la emisión de CH₄, se han referenciado porcentualmente las emisiones horarias de CH₄ al promedio del día. Posteriormente, se ha realizado la media del mes para cada franja horaria a partir estos datos porcentuales. De esta forma se tampona la influencia del efecto que puede tener la estacionalidad o la influencia excesiva de los días anómalos. Este esquema se repite para dos meses (septiembre y diciembre 2012).

Resultados y Discusión

Parámetros productivos y ambientales

Parámetros productivos

Censo

La población de gallinas existentes en la nave estudiada, cobra gran importancia ya que ellas son el origen directo o indirecto de la emisión de gases. Su propio metabolismo o las heces excretadas generan tanto el amoníaco NH_3 como los gases de efecto invernadero (GEI).

Por ello, es razonable tener un control de la población y del peso por animal. La mortalidad media ha sido del 4,3 %, pasando de 52.800 aves (19/04/2012) a 50.523 aves (30/05/2013). Pese a este descenso en el censo, es conveniente tener en cuenta el aumento de peso de las gallinas conforme maduran, ya que la masa del conjunto de las gallinas aumenta pese a las bajas (Figura 16). Este dato puede cobrar importancia a la hora de mostrar los datos por ave o a la hora de calcular tasas de respiración u otros procesos metabólicos.

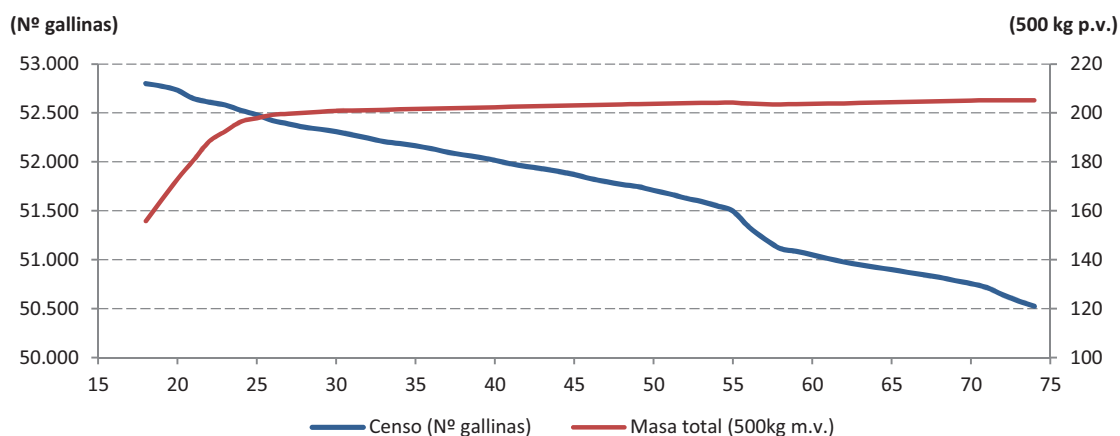


Figura 16: Evolución del censo de la población y de la masa total de gallinas entre las 15 y 75 semanas de vida.

Producción de huevos

También se han obtenido datos productivos hasta la semana 53 de vida de las gallinas. El peso medio del huevo, la producción de huevos acumulada por gallina, así como la masa de huevos acumulada por gallina son mostrados en la tabla 4.

Tabla 4: Datos productivos por semanas de vida de las gallinas.

Semana	Puesta	Tamaño huevo	Producción	Productividad
	Intensidad de puesta (%)	(g / huevo)	(huevos / gallina aloj.)	(Kg huevo / gallina aloj)
20	46,6	51,9	3,7	0,2
35	93,1	66,3	99,3	6,3
50	91,4	67,0	191,9	12,5

Las aves han mostrado una evolución productiva satisfactoria, sobrepasando las estimaciones de una productividad tipo en % de puesta (Figura 17).

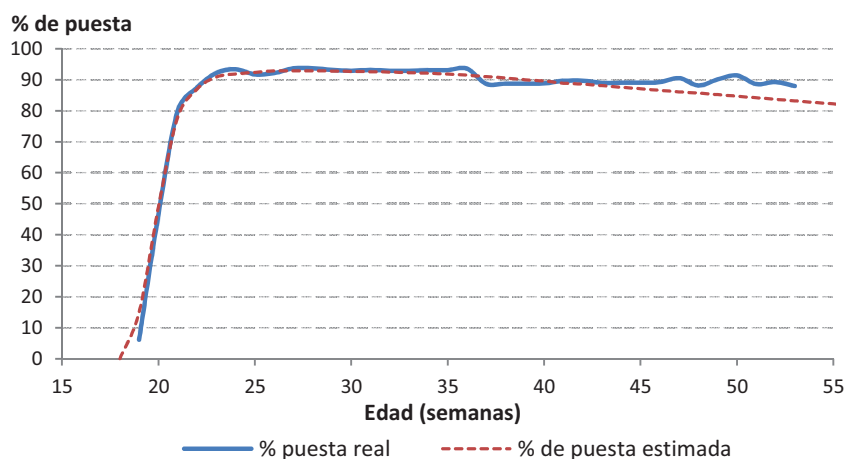


Figura 17: Evolución real y estimada del % de puesta

Alimentación

La alimentación de las gallinas está planificada por fases a lo largo de su vida productiva. El avicultor decidió que con el comienzo del año, cambiaría a una segunda fase de alimentación bajando la proteína. En el muestreo realizado quincenalmente se ha visto que hay una diferencia significativa ($P < 0,05$) respecto a la proteína bruta entre las dos fases. Los demás parámetros analizados no muestran diferencias significativas a pesar de que en el caso de la fibra bruta parece que hay cierta diferencia ($P < 0,1$). El pienso tipo muestreado tiene la siguiente composición de alimentos según la fase de alimentación:

Tabla 5: Composición en materias primas de los piensos de las fases 1 y 2.

	Composición (% MF)	
	Fase 1 (sem. 19-55)	Fase 2 (sem.55-77)
Maíz	44,4	45,7
Harina de extracción de soja tostada	27,3	24,4
Trigo	15,0	15,0
Carbonato de Calcio	8,4	8,9
Aceite de soja	1,6	2,0
Harina de extracción de semilla de girasol	1,2	2,0
Fosfato bicálcico	1,0	0,9
Cloruro de sodio	0,2	0,4

Los resultados de los análisis químicos de los piensos se muestran en la tabla X, separados por fases. En la tabla 6 podemos ver como la media de proteína es de 16,6% para la fase más temprana, la fase 1; y es de 16,1% para la fase 2, iniciada a comienzos del año 2013. La concentración teórica fue obtenida a partir del etiquetado de los piensos remitidos por la propia casa de piensos.

Tabla 6: Comparación entre concentración teórica y los resultados de la analíticas de pienso

FASE 1	Concentraciones teóricos	Analíticas			
		Promedio	Mínimo	Máximo	D.E.
Cenizas %	12,7	14,0	12,1	16,8	1,4
Materia Seca %	-	89,6	88,7	90,8	0,5
Fibra Bruta %	3,0	3,7	2,7	4,5	0,5
Grasa Bruta %	4,6	4,1	3,6	4,7	0,3
Proteína Bruta %	17,1	16,6	14,8	17,4	0,6
FASE 2					
Cenizas %	12,6	14,5	12,1	18,1	1,6
Materia Seca %	-	89,8	89,2	90,7	0,6
Fibra Bruta %	3,2	4,0	3,4	4,6	0,4
Grasa Bruta %	4,4	4,3	3,7	4,8	0,4
Proteína Bruta %	16,8	16,1	15,6	16,9	0,5

D.E. : Desviación estándar

Tanto el porcentaje de proteína como de grasa son más bajos en las analíticas que en los porcentajes teóricos, mientras que la concentración de fibra bruta es mayor. Estas diferencias en el aporte de nitrógeno son importantes ya que la diferencia es superior al medio punto porcentual.

Excretas

La gallinaza que se acumula sobre las cintas ha sido recogida quincenalmente y analizada dando lugar a los resultados que se muestran en la Tabla 7. En la esta se muestran los datos separados por fases para mantener el orden seguido con la alimentación y así poder ver si hay alguna influencia.

Tabla 7: Resultados de la analíticas de gallinaza

FASE 1		Promedio	Mínimo	Máximo	D.E.
pH		7,6	6,5	8,7	0,6
Materia Orgánica (%)		67,9	58,6	74,0	5,3
Cenizas (%)		32,1	26,0	41,4	5,3
Materia Seca (%)		27,3	20,5	37,5	4,9
Nitrógeno	Total (%) M.s.	5,45	3,85	6,90	0,91
	Amoniacal (%) M.s.	1,68	0,54	4,50	1,01
FASE 2					
pH		7,6	7,1	8,3	0,4
Materia Orgánica (%)		69,4	59,0	73,7	3,4
Cenizas (%)		30,6	26,3	41,0	3,4
Materia Seca (%)		28,7	22,5	35,4	3,3
Nitrógeno	Total (%) M.s.	4,99	2,62	6,32	1,00
	Amoniacal (%) M.s.	0,99	0,31	2,65	0,70

D.E. : Desviación estándar

Observando estos datos la única diferencia significativa está en el nitrógeno amoniacal ($P < 0,05$), siendo menor en la fase 2. El nitrógeno total también es más bajo en dicha fase siguiendo lo esperable, debido a la menor cantidad de proteína y por lo tanto de nitrógeno en el pienso.

Se ha podido observar que la materia seca oscila entre el 21 y 38 %, es decir que la diferencia en la cantidad de agua que puede tener la gallinaza puede ser considerable. Pese a lo que se puede prever de antemano, no se ha detectado ninguna estacionalidad en la humedad de la gallinaza. Sí parece haber una influencia del lugar en el que se acumula dentro de la nave, aunque los datos no son suficientes para determinar nada concreto.

La mayor concentración de nitrógeno se dio en mayo del 2012 con un 6,9 %, mientras que el de nitrógeno amoniacal fue en junio con un 4,5 %. Las concentraciones mínimas en cambio fueron en febrero de 2013 con un 2,6 % para el total y en mayo de 2013 con un 0,3 % para el amoniacal (Tabla 7).

Vemos que los máximos coinciden con las primeras semanas de producción de las gallinas, con un pienso rico en nitrógeno, mientras que las más bajas se dan con el pienso de la segunda fase.

Pese a no haber percibido una diferencia estacional, si hemos observado una tendencia que se repite en la evolución de la gallinaza durante el tiempo de acumulación en la cinta (4 días). El porcentaje de materia seca va subiendo, del mismo modo que el porcentaje de nitrógeno amoniacal (Figura 18).

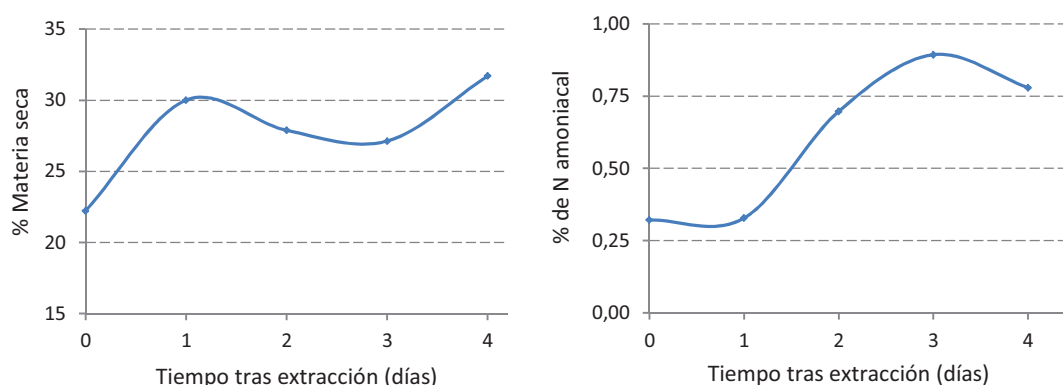


Figura 18: Materia seca y nitrógeno amoniacal respecto al momento de la limpieza de las cintas.

Parámetros ambientales

Temperatura

La temperatura media diaria interior osciló entre 15,5 y 27,4 °C. La temperatura más baja se produjo el 11 de febrero de 2013 y coincidió con una quincena con temperaturas muy bajas y sucesivas nevadas. La temperatura más alta se produjo el 17 de agosto del 2012, registró, que coincide con la temperatura más alta tomada en las entradas y en el exterior con 24,5 y 30,9 °C respectivamente. La temperatura de entrada más alta es más baja que la del interior y la del exterior, cuestión achacable al sistema de refrigeración “Cooling”.

Sin embargo las temperaturas más bajas de entrada y del exterior no coinciden en el día con la del interior ni entre ellas, aunque todas ellas se dan en el intervalo de un mes; siendo la más baja de entrada, con una temperatura de 7,6 °C, el 13 de marzo del 2013 y la del exterior el día 24 de febrero del 2013 con 3,1 °C de media (Figura 19).

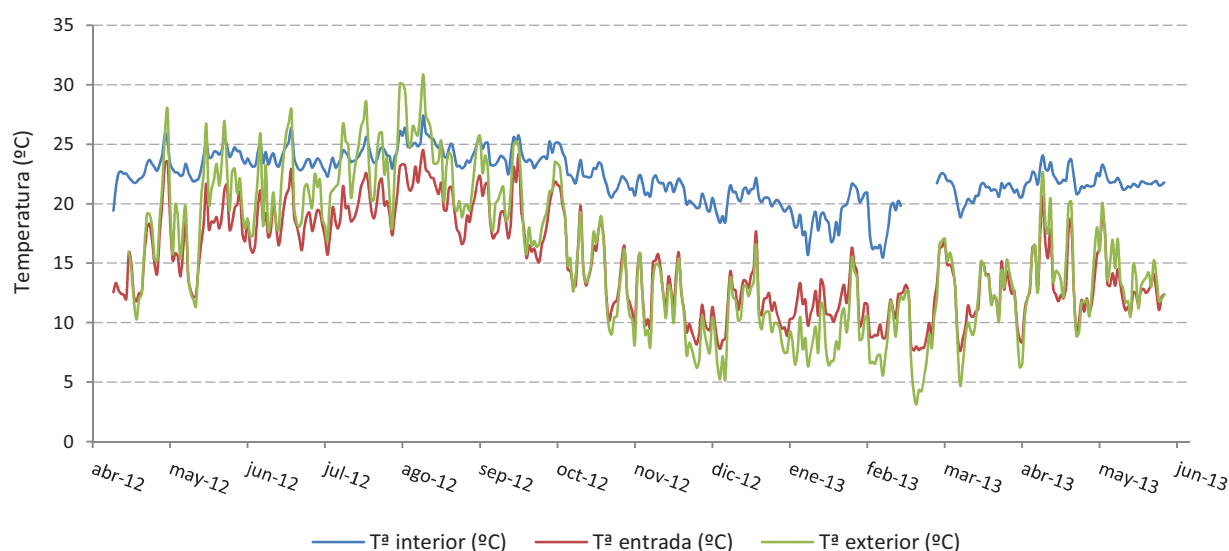


Figura 19: Promedio diario de temperatura del interior, de las entradas de aire y del exterior.

La temperatura del interior de la nave es más constante, gracias a la regulación que hace el automático de los ventiladores, de la apertura de ventanas y del sistema de refrigeración. La desviación estándar nos muestra que el verano es la época en que menos oscila la temperatura y el invierno, en cambio la que más (Tabla 8). La temperatura exterior en cambio varía más en primavera y en otoño.

La temperatura interna es superior a la externa y a la de entrada salvo en la época estival. Momento también en el que hemos observado que la temperatura de entrada es menor que la interna y que la externa. Fenómeno provocado por el sistema de refrigeración “cooling”. Salvo en esta situación, como es lógico, la temperatura de entrada es similar a la exterior.

La temperatura media interior es, en todas las estaciones, mayor que la temperatura exterior y la de entrada, aunque las máximas más altas en primavera y en verano se dan en el exterior. En otoño e invierno la media más baja se da en el exterior.

Todos estos datos registrados en el exterior durante el estudio, reflejan unas condiciones típicas del clima de la zona. Se ha observado también que la temperatura de entrada es más suave que la del exterior (Tabla 8).

Tabla 8: Temperatura interior, exterior y de entrada según la estación.

Tª media diaria (°C)	Invierno				Tª media diaria (°C)	Primavera			
	Promedio	Mínimo	Máximo	D.E.		Promedio	Mínimo	Máximo	D.E.
Interior	19,6	15,5	22,6	1,8	Interior	22,7	19,4	26,3	1,3
Entrada	11,4	7,6	16,7	2,3	Entrada	15,4	8,4	23,5	3,4
Exterior	9,9	3,1	17,1	3,2	Exterior	16,8	6,3	27,9	4,7

Tª media diaria (°C)	Verano				Tª media diaria (°C)	Otoño			
	Promedio	Mínimo	Máximo	D.E.		Promedio	Mínimo	Máximo	D.E.
Interior	24,2	22,3	27,4	1,0	Interior	21,6	18,4	25,2	1,5
Entrada	19,8	15,4	24,5	2,2	Entrada	13,4	7,8	21,8	3,4
Exterior	22,6	15,8	30,9	3,4	Exterior	12,8	5,2	23,5	4,2

* Invierno (enero, febrero, marzo); Primavera (abril, mayo, junio); Verano (julio, agosto, septiembre); Otoño (octubre, noviembre, diciembre).
D.E. : Desviación estándar

Humedad

La humedad relativa es muy constante en general. Los datos muestran que normalmente la del interior es más baja que la del exterior. Existen algunas salvedades, sobre todo en verano. Esto es debido a que el aire del exterior pasa por los evaporadores de agua disipando el calor y cargándose a su vez el aire de vapor de agua (Figura 20).

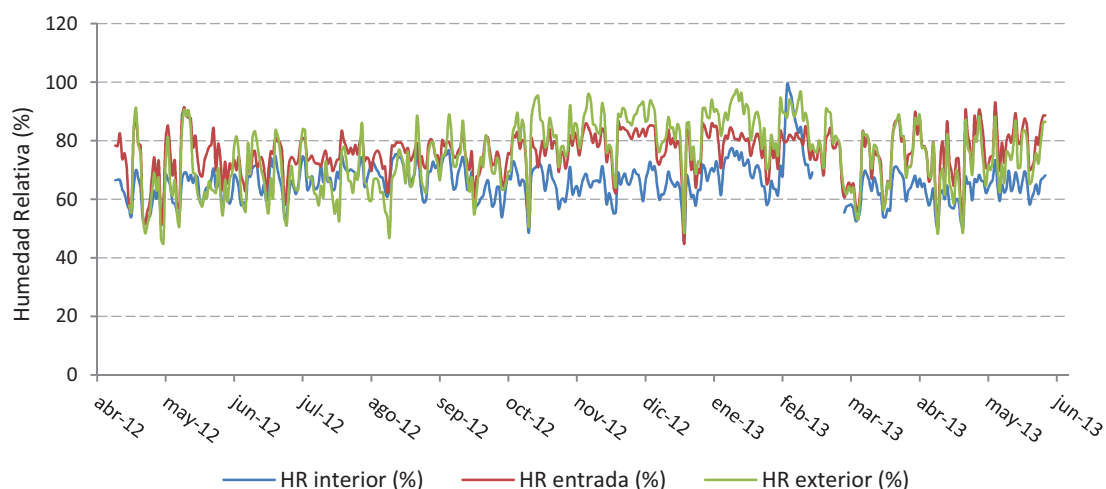


Figura 20: Promedio diario de la humedad relativa del interior, de las entradas de aire y del exterior.

Las diferencias entre estaciones son mínimas. La alta pluviometría de la zona y la distribución homogénea durante el año hacen difícil que disten mucho los datos de las diferentes estaciones. Es reseñable que rara vez la humedad baja del 50 %. Las medias más altas en el exterior, se dan en invierno y otoño, mientras que en el interior todas las medias son muy similares (Tabla 9).

Tabla 9: Humedad relativa, interior, exterior y de entrada, según la estación.

HR% media diaria	Invierno				HR% media diaria	Primavera			
	Promedio	Mínimo	Máximo	D.E.		Promedio	Mínimo	Máximo	D.E.
Interior	68,9	52,6	99,3	9,6	Interior	63,3	50,0	74,8	5,1
Entrada	76,6	55,9	87,4	7,5	Entrada	74,8	50,8	93,0	9,4
Exterior	81,4	53,1	97,5	10,8	Exterior	70,4	45,0	91,3	10,9

HR% media diaria	Verano				HR% media diaria	Otoño			
	Promedio	Mínimo	Máximo	D.E.		Promedio	Mínimo	Máximo	D.E.
Interior	67,5	53,5	76,7	5,1	Interior	64,5	45,7	72,8	5,1
Entrada	74,8	58,5	83,3	4,7	Entrada	77,1	45,2	86,5	7,2
Exterior	69,0	47,1	89,0	8,7	Exterior	81,4	48,8	96,0	9,4

* Invierno (enero, febrero, marzo); Primavera (abril, mayo, junio); Verano (julio, agosto, septiembre); Otoño (octubre, noviembre, diciembre). D.E. : Desviación estándar

Ventilación

Calibración de los ventiladores

Tras realizar 46 mediciones validas se ha obtenido una media de caudal de $37.026 \pm 5.082 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. El caudal mínimo ($27.519 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$) se ha registrado a 30 Pa de presión diferencial con 7 ventiladores encendidos, por lo que se deduce que las ventanas estaban totalmente cerradas. Estos valores de depresión solamente se alcanzan en la situación descrita o con la combinación del funcionamiento de los 18 ventiladores y el sistema de refrigeración. La figura 21 muestra las diferencias en la velocidad del aire en diferentes cuadrantes de un ventilador. Las diferencias entre el centro y el exterior del ventilador pueden ser de 40%.

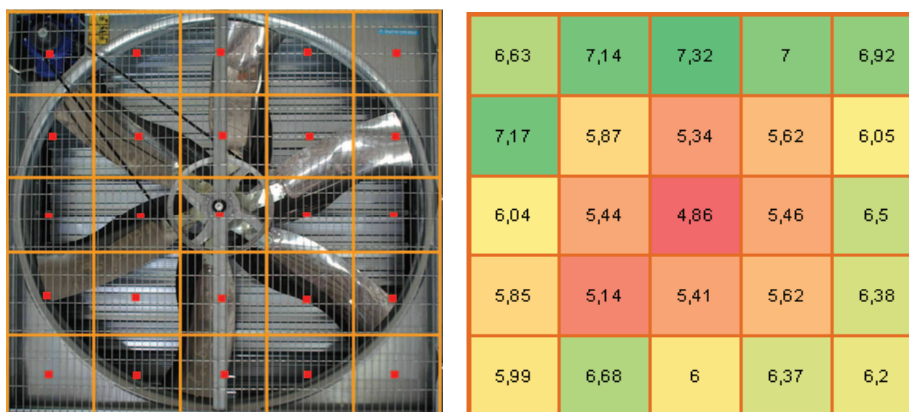


Figura 21: Ejemplo de resultados de medidas de velocidad del aire (m s^{-1}) en la calibración de un ventilador.

El caudal máximo ($46.531 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$) por el contrario se registró a 0 Pa con solamente 3 ventiladores activos y con las ventanas abiertas. Combinación está poco frecuente, pero posible los atardeceres de días cálidos con noches frías.

Haciendo una comparación de los datos de flujo de aire a diferentes depresiones, entre los datos de la ficha técnica suministrada por la marca de ventiladores y la estimación hecha según las calibraciones realizadas; se observa una mayor caída del caudal en la estimación (Tabla 10).

Tabla 10: Comparación de flujos de aire a diferentes depresiones.

Depresión	Flujo de aire ($\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$)	
	Teórico	Estimado
0 Pa	42.125	42.415
25 Pa	38.048	29.092
50 Pa	33.239	15.768

Las diferencias halladas son considerables, ya que el uso de los datos proporcionados por la casa comercial conllevaría un sustancial aumento de la emisión calculada, alejándose de la realidad.

Tasas de ventilación a lo largo del estudio

La tasa media diaria de ventilación ha sido de $3,0 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ ave}^{-1}$, oscilando en un rango entre 0,5 y $13,0 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ ave}^{-1}$, valores algo superiores pero en rangos similares a los de Ni y col. (2012) ($2,1 \pm 1,5 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ ave}^{-1}$) para condiciones de temperatura interiores algo superiores y exteriores algo más frías ($26,8$ y $12,0$ °C, respectivamente).

EL caudal de ventilación, como se puede observar en la figura 22, oscila notoriamente en la época estival, mientras que en otoño y en primavera las variaciones entre días se atenúan, siendo el invierno la estación más constante. Esto coincide con las desviaciones estándar de la tabla 11.

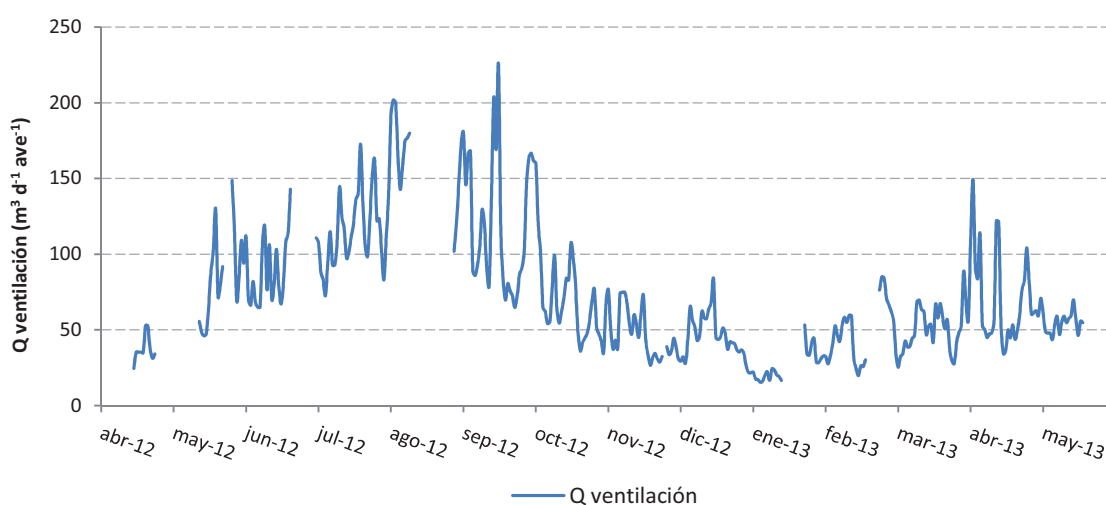


Figura 22: Caudal de ventilación por gallina.

Si analizamos los valores medios según la estación veremos que el caudal en verano es en torno al doble que en primavera y otoño. La diferencia con la estación invernal es aún mayor triplicando el

caudal. Es curioso observar que las mínimas de invierno, primavera y otoño son similares. Del mismo modo que las máximas de verano, primavera y otoño coinciden. Esto muestra que tanto primavera como otoño son épocas de transición, como es conocido, y que también se traduce en los caudales (Tabla 11).

Tabla 11: Caudal de ventilación según la estación.

Q ventilación (m ³ ·h ⁻¹ ·ave ⁻¹)	Promedio	Mínimo	Máximo	D.E.	n
Invierno	1,7	0,6	7,1	1,0	2.159
Primavera	2,9	0,6	12,6	1,9	3.205
Verano	5,3	1,5	13,0	2,8	2.208
Otoño	2,6	0,5	13,0	1,7	2.197

*Invierno (enero, febrero, marzo); Primavera (abril, mayo, junio); Verano (julio, agosto, septiembre); Otoño (octubre, noviembre, diciembre).

D.E. : Desviación estándar

Amoniaco

Emisión total

La concentración máxima de NH_3 registrada en el interior de la nave durante todo el periodo fue de 12 mg m^{-3} , el día 29 de mayo del 2012. La concentración media en cambio, es mucho más baja, siendo de $2,2 \pm 1,5 \text{ mg/m}^3$, valor bajo si lo comparamos con el estudio de dos años realizado por Ni y col. (2012), que registra valores medios de 8,9 y $9,2 \text{ mg/m}^3$ en dos naves contiguas. Un clima más extremo, la diferencia en las instalaciones y su manejo pueden ser las razones por las que se da esta disparidad en los datos.

La exposición de los animales a altas concentraciones de NH_3 tiene un impacto negativo en el rendimiento animal. Este estudio no proporciona la concentración a nivel de jaula de NH_3 pero las máximas concentraciones medidas en los extractores ($12,1 \text{ mg m}^{-3}$) no muestran riesgo potencial para el bienestar animal y la salud del trabajador, por no ser excesivamente alto ni prolongado en el tiempo.

Las variaciones de la concentración de NH_3 están estrechamente relacionadas con la variación de la temperatura exterior, que afecta a las tasas de ventilación. Por ello las mayores concentraciones se dan en los meses más fríos (Figura 23).

Las mayores tasas de emisión en cambio las encontramos en verano o en ciertos momentos de primavera e incluso a principios de otoño. Tanto la concentración como la emisión tiene picos pronunciados en cortos intervalos de tiempo, que además son coincidentes (Figura 23). Este hecho se repite con una periodicidad que oscila entre 2 y 4 días, periodicidad igual a la de la extracción de gallinaza. Cruzando los datos de fechas de extracción con los datos de emisión y concentración vemos que la limpieza de las cintas tiene un efecto inmediato.

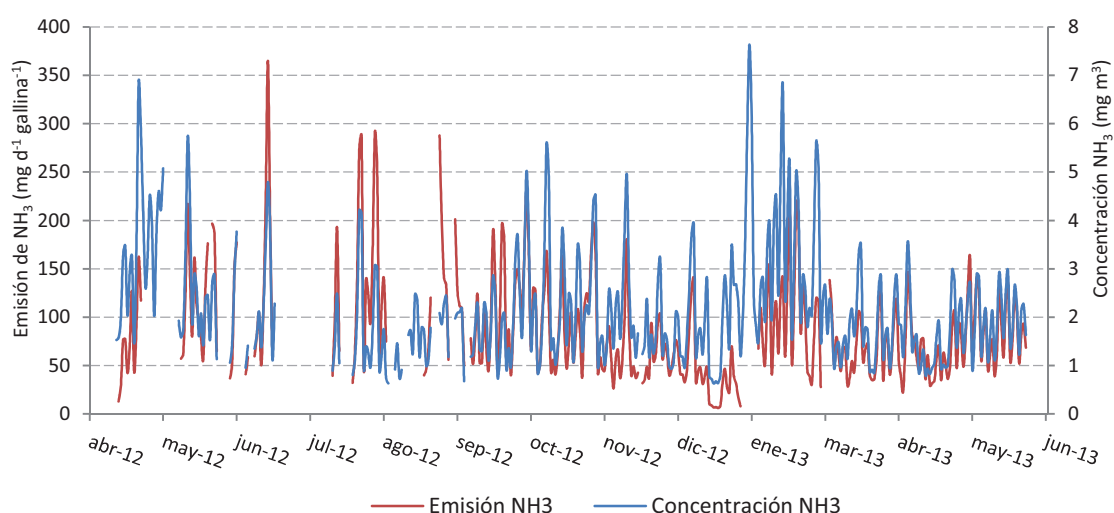


Figura 23: Emisión y concentración de NH_3 a lo largo del estudio.

La emisión media ha sido de $88,1 \pm 55,4 \text{ mg d}^{-1} \text{ gallina}^{-1}$, muy similar a lo registrado por Fournel y col. (2012), con $87,7 \text{ mg d}^{-1} \text{ gallina}^{-1}$, y cercano a la mitad de lo registrado por Fabbri y col. (2007), que obtuvo una emisión de $169,9 \pm 54,8 \text{ mg d}^{-1} \text{ gallina}^{-1}$. Dekker y col. (2011), registraron valores incluso mayores desde 353 a $414 \text{ mg d}^{-1} \text{ gallina}^{-1}$.

La emisión media en invierno fue de $71,3 \text{ mg d}^{-1} \text{ gallina}^{-1}$ y en verano de $123,6 \text{ mg d}^{-1} \text{ gallina}^{-1}$ comparables a los valores tomados por da Borso y Chiumenti, (1999), en la zona norte de Italia (28 y $154 \text{ mg d}^{-1} \text{ gallina}^{-1}$ respectivamente). Como se puede apreciar las mayores emisiones medias se dan en verano, periodo en el que se registran las menores concentraciones, debido al efecto de la ventilación (Tabla 12). La mayor concentración, así como la menor emisión, se dan en invierno, efecto inverso al anteriormente descrito.

Tabla 12: Emisión y concentración de NH_3 en las diferentes estaciones.

Amoníaco (NH_3)					
Invierno	Promedio	Mínimo	Máximo	D.E.	N
Concentración (mg m^{-3})	2,5	0,4	11,0	1,8	2159
Δ de concentración (mg m^{-3})	1,9	0,2	8,8	1,4	2159
Emisión (g h^{-1})	151,7	8,6	863,4	133,4	1872
Emisión ($\text{mg d}^{-1} \text{ ave}^{-1}$)	71,3	4,0	406,2	62,7	1872
Primavera	Promedio	Mínimo	Máximo	D.E.	N
Concentración (mg m^{-3})	2,3	0,3	12,1	1,5	2658
Δ de concentración (mg m^{-3})	1,7	0,1	9,8	1,3	2657
Emisión (g h^{-1})	192,7	17,2	1019,3	152,3	2346
Emisión ($\text{mg d}^{-1} \text{ ave}^{-1}$)	89,7	7,8	466,9	70,1	2346
Verano	Promedio	Mínimo	Máximo	D.E.	N
Concentración (mg m^{-3})	1,7	0,4	8,2	1,1	1085
Δ de concentración (mg m^{-3})	1,1	0,1	7,0	1,0	1085
Emisión (g h^{-1})	268,5	24,8	1140,6	205,4	844
Emisión ($\text{mg d}^{-1} \text{ ave}^{-1}$)	123,6	11,4	525,9	94,5	844
Otoño	Promedio	Mínimo	Máximo	D.E.	N
Concentración (mg m^{-3})	2,1	0,5	9,0	1,3	2144
Δ de concentración (mg m^{-3})	1,6	0,1	7,5	1,2	2144
Emisión (g h^{-1})	187,0	26,5	960,1	132,5	2144
Emisión ($\text{mg d}^{-1} \text{ ave}^{-1}$)	86,6	12,3	445,1	61,3	2144
TOTAL	Promedio	Mínimo	Máximo	D.E.	N
Concentración (mg m^{-3})	2,2	0,3	12,1	1,5	8046
Δ de concentración (mg m^{-3})	1,6	0,1	9,8	1,3	8045
Emisión (g h^{-1})	189,2	8,6	1140,6	153,1	7206
Emisión ($\text{mg d}^{-1} \text{ ave}^{-1}$)	88,0	4,0	525,9	70,7	7206

* Invierno (enero, febrero, marzo); Primavera (abril, mayo, junio); Verano (julio, agosto, septiembre); Otoño (octubre, noviembre, diciembre).

**Cálculos realizados sobre valores horarios.

N = Número de observaciones

Como podemos observar en la tabla 12, tanto la concentración mínima como la máxima se dan en primavera. La emisión mínima se da en invierno y la máxima en verano. En contra de lo esperado la mínima de verano es menor que la de otoño, aunque no deja de ser un fenómeno puntual.

Influencia de la frecuencia de extracción de gallinaza

Como se ha citado anteriormente, se observó una relación clara entre las fechas de limpieza de las cintas de la nave y los picos de NH_3 registrados. Para analizar este hecho, se hizo un estudio de los datos registrados desde junio hasta diciembre del 2012 (salvo julio, por falta de datos robustos).

La emisión media de NH_3 durante el período de estudio fue de $1,03 \text{ g h}^{-1} 500 \text{ kg}^{-1}$ (pv). Fabbri y col. (2007), observaron una emisión similar en un período análogo, con $1,64 \text{ g h}^{-1} 500 \text{ kg}^{-1}$ (pv), por el contrario Nicholson y col. (2004), encontraron una emisión más alta ($3,3 \text{ g h}^{-1} 500 \text{ kg}^{-1}$ (pv) por la frecuencia semanal de extracción de la gallinaza.

Tabla 13: Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y humedad relativa (%HR) interior y exterior, tasa de ventilación, concentraciones de NH_3 dentro y fuera del alojamiento, así como emisión de NH_3 .

		Promedio	Mínimo	Máximo	D.E.
T ($^{\circ}\text{C}$)	Exterior	16,7	3,2	29,8	4,8
	Interior	23,6	19,7	32,6	1,4
HR (%)	Exterior	78,9	28,0	98,1	11,8
	Interior	64,6	32,1	82,7	7,5
Tasa de ventilación ($\text{m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ ave}^{-1}$)		3,4	0,5	13,0	2,3
Concentración de NH_3 (mg m^{-3})	Exterior	0,5	0,2	4,0	0,2
	Interior	2,0	0,3	10,4	1,32
Emisión de NH_3 ($\text{mg h}^{-1} \text{ ave}^{-1}$)		4,0	0,2	27,0	3,3

En el interior de la nave, la temperatura osciló alrededor de la temperatura de referencia de 23°C . La Tabla 14 muestra los resultados de las analíticas de las deyecciones (de 1 a 4 días después de la limpieza de la banda). El promedio del pH fue de 7,6 y la materia seca osciló entre 18,8 y 39,4%. La generación de NH_3 disminuye cuando la materia seca (MS) de la gallinaza es mayor que el 70% (Carr y col., 1990). Por lo tanto, el contenido de MS de la gallinaza en el ensayo actual no limita la emisión.

Tabla 14: Composición de la gallinaza.

Composición de la excreta	Promedio	Mínimo	Máximo	D.E.
MS (%)	24,8	18,8	39,5	3,9
pH	7,6	6,4	8,8	0,6
N total (% MS)	5,6	3,6	8,4	1,0
N Amoniacal (% MS)	2,1	0,9	5,1	1,1
MO (%)	71,7	55,5	79,8	4,6

Las emisiones de NH_3 fueron disminuyendo tras la limpieza de las cintas hasta 5 horas después, tal y como Fabbri y col. (2007) mostraron. En este instante se registraron los valores mínimos ($1,8 \text{ mg ave}^{-1} \text{ h}^{-1}$) que han sido utilizados para marcar el tiempo cero.

La figura 24 muestra como la emisión de NH_3 va creciendo conforme pasan las horas desde que se ha extraído toda la gallinaza. La oscilación que se aprecia se debe a la diaria fluctuación de la ventilación inherente al cambio de temperatura del día y la noche. La cantidad cada vez mayor de estiércol en la cinta junto con el tiempo de acumulación, explica el modelo de regresión cuadrático (Figura. 24).

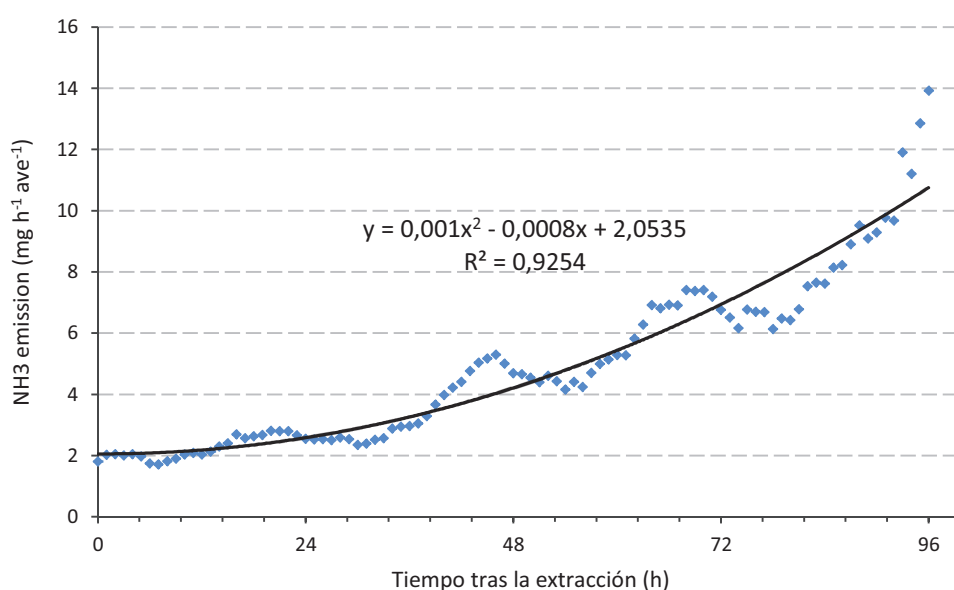


Figura 24: Emisiones de NH_3 tras la extracción de la gallinaza (media de los datos horarios de todo el período de medida)

En relación a la simulación realizada para un periodo de 12 días las emisiones teóricas acumuladas fueron de 3,1 kg de NH_3 para una frecuencia de una recogida cada 4 días; y de 1,4 kg de NH_3 para una frecuencia de recogida diaria (Figura 25).

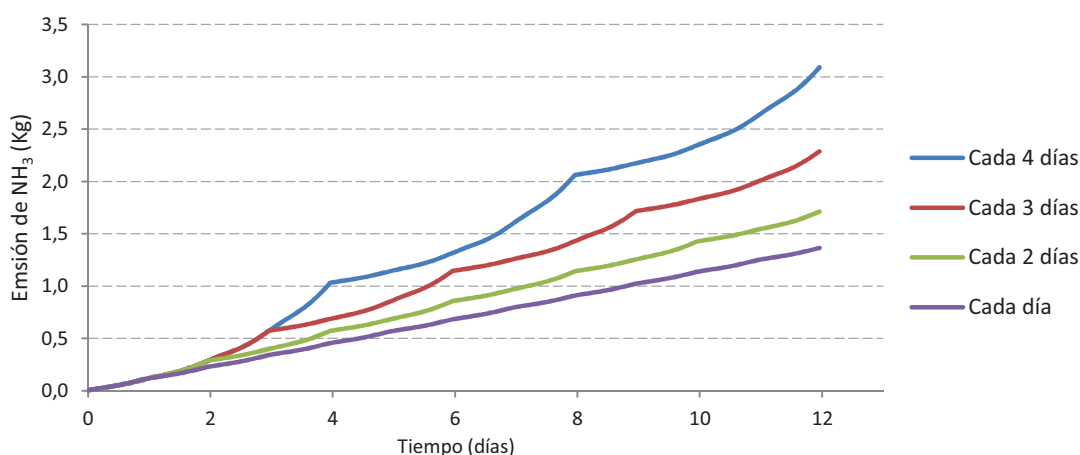


Figura 25: Valores teóricos de la emisión acumulada de NH_3 , en diferentes escenarios de frecuencia de extracción.

De acuerdo con estos datos, la tabla 15 muestra el % de reducción de emisión de NH_3 producto del aumento de la frecuencia de limpieza de la cinta. Los resultados indican que el aumento de la frecuencia reduciendo el intervalo entre extracciones en un día puede traer consigo una reducción de la pérdida de NH_3 de aproximadamente el 25%. La reducción de 4 a 2 días y de 3 a 1 a su vez reporta un 40% de reducción de la emisión. Un cambio de estrategia en la extracción de gallinaza puede ser una buena MTD en la reducción de NH_3 .

Tabla 15: Reducción de la emisión de NH_3 (%), incrementando la frecuencia de la limpieza de la cinta (frecuencia simulada) frente al manejo del escenario de referencia.

		Frecuencia Simulada			
		Cada 4 días	Cada 3 días	Cada 2 días	Cada día
Escenario de referencia	Cada 4 días	-	26,0	44,6	55,9
	Cada 3 días		-	25,2	40,4
	Cada 2 días			-	20,3
	Cada día				-

Metano

Emisión total

El mayor valor de concentración de CH_4 en el interior de la nave registrado durante el periodo fue de $19,7 \text{ mg m}^{-3}$, el día 26 de junio del 2012. Valores similares también se produjeron otros días de junio, agosto y enero. La concentración media, en cambio, es mucho más baja, siendo de $4,1 \pm 1,8 \text{ mg m}^{-3}$, en línea con lo visto por Dekker y col. (2011), en tres explotaciones diferentes de gallinas ponedoras (5,2; 3,0; $2,6 \text{ mg m}^{-3}$).

La concentración de CH_4 parece responder positivamente al aumento de la temperatura exterior y por consiguiente a la del interior o a mayores tasas de ventilación. En contra de lo que ocurre con otros gases, las mayores concentraciones se dan en los meses más cálidos (Figura 26).

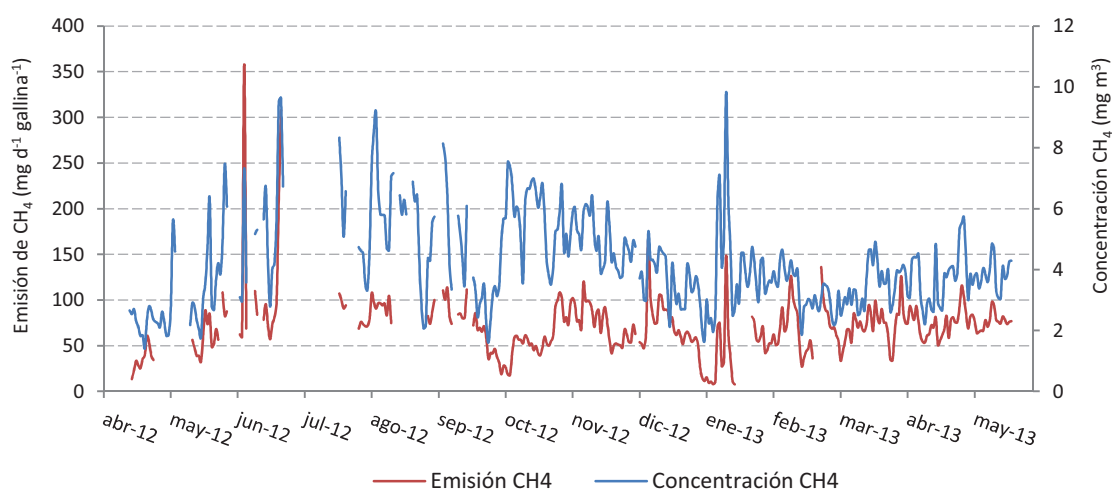


Figura 26: Emisión y concentración de CH_4 a lo largo del estudio.

Del mismo modo, las mayores tasas de emisión las encontramos en verano y finales de primavera. La emisión media ha sido de $69,8 \pm 47,8 \text{ mg d}^{-1} \text{ gallina}^{-1}$, muy similar a lo registrado por Fournel y col. (2011), con $69,3 \pm 52,6 \text{ mg d}^{-1} \text{ gallina}^{-1}$. Dekker y col, (2011) presentan valores tanto superiores como inferiores ($151; 34; 54 \text{ mg d}^{-1} \text{ gallina}^{-1}$). Por el contrario la emisión registrada por Fabbri y col. (2007), es superior ($221,9 \pm 109,6 \text{ mg d}^{-1} \text{ gallina}^{-1}$).

No se han visto diferencias muy acentuadas entre estaciones, la emisión media en invierno fue de $129 \text{ mg d}^{-1} \text{ gallina}^{-1}$ y en verano de $186 \text{ mg d}^{-1} \text{ gallina}^{-1}$. Las concentraciones máximas y mínimas, así como la tasa de emisión más alta, se han dado en primavera mientras que la tasa de emisión más baja se ha dado en otoño (Tabla 16).

Tabla 16: Emisión y concentración de CH₄ en las diferentes estaciones.

Metano (CH ₄)					
Invierno	Promedio	Mínimo	Máximo	D.E.	N
Concentración (mg m ⁻³)	3,6	0,7	16,8	1,4	2159
Δ de concentración (mg m ⁻³)	1,5	0,2	11,7	0,9	2159
Emisión (g h ⁻¹)	129,0	6,7	1046,3	85,6	1872
Emisión (mg d ⁻¹ ave ⁻¹)	60,6	3,1	492,3	40,3	1872
Primavera	Promedio	Mínimo	Máximo	D.E.	N
Concentración (mg m ⁻³)	3,7	0,4	19,7	1,8	2653
Δ de concentración (mg m ⁻³)	1,2	0,0	14,1	0,7	2638
Emisión (g h ⁻¹)	155,3	3,2	2888,1	139,0	2337
Emisión (mg d ⁻¹ ave ⁻¹)	72,6	1,5	1323,2	64,0	2336
Verano	Promedio	Mínimo	Máximo	D.E.	N
Concentración (mg m ⁻³)	5,0	0,7	15,5	2,2	1084
Δ de concentración (mg m ⁻³)	0,8	0,1	3,7	0,3	1083
Emisión (g h ⁻¹)	185,8	39,1	553,0	62,4	842
Emisión (mg d ⁻¹ ave ⁻¹)	85,6	17,9	254,9	28,7	842
Otoño	Promedio	Mínimo	Máximo	D.E.	N
Concentración (mg m ⁻³)	4,8	0,5	8,5	1,4	2144
Δ de concentración (mg m ⁻³)	1,4	0,0	4,7	0,6	2040
Emisión (g h ⁻¹)	147,8	2,8	902,7	76,1	2047
Emisión (mg d ⁻¹ ave ⁻¹)	68,5	1,3	419,4	35,3	2040
TOTAL	Promedio	Mínimo	Máximo	D.E.	N
Concentración (mg m ⁻³)	4,1	0,4	19,7	1,8	8040
Δ de concentración (mg m ⁻³)	1,3	0,0	14,1	0,7	7920
Emisión (g h ⁻¹)	149,8	2,8	2888,1	103,5	7098
Emisión (mg d ⁻¹ ave ⁻¹)	69,8	1,3	1323,2	47,8	7090

* Invierno (enero, febrero, marzo); Primavera (abril, mayo, junio); Verano (julio, agosto, septiembre); Otoño (octubre, noviembre, diciembre).

**Cálculos realizados sobre valores horarios.

N = Número de observaciones

Variación de la emisión de CH₄ a lo largo del día

Se presentan los resultados de dos meses caracterizados por la diferente temperatura que hubo y las consecuentes tasas de ventilación. Septiembre, con una temperatura media exterior de 18,6 °C y diciembre, con una temperatura media de 11,3 °C. Los caudales de ventilación fueron proporcionales a la Tª exterior ($R^2=0,8$ $P<0,001$), siendo el caudal de la temporada más cálida más del doble con respecto al caudal de la fría, con 124 y 46 m³ d⁻¹ gallina⁻¹ de media respectivamente.

El promedio de emisión de CH₄ no fue diferente significativamente ($P>0,05$), con 4,3 y 3,8 kg d⁻¹ para septiembre y diciembre, respectivamente. Sin embargo, si se analiza la variación diaria de la ventilación y las emisiones de CH₄, se observó un efecto significativo de la hora del día ($P<0,05$) en ambos periodos, tanto para la ventilación como para la emisión de CH₄.

Las diferencias a lo largo del día fueron mayores en septiembre que en diciembre (Figura 27), como ya se había descrito con anterioridad (Fabbri y col., 2007).

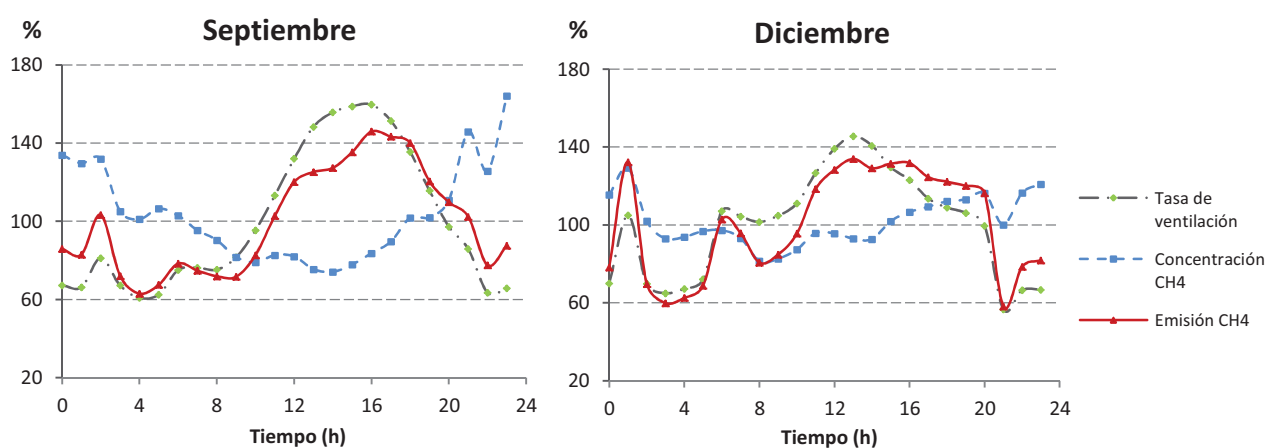


Figura 27: Patrón de un día medio (valores de medias horarias, calculadas como % del valor medio diario) de cada mes, de [o] tasa de ventilación, [■] Δ de concentración de CH₄ y [▲] emisión de CH₄.

Como se puede apreciar en la figura 27 la emisión de metano fue más alta a lo largo del día que durante la noche siendo del orden de 30-40% más alta la emisión durante las horas de luz ($P < 0,05$). La concentración fue también más estable en diciembre (Tabla 17).

Tabla 17: Emisión y concentración de CH₄ en septiembre y diciembre.

		Promedio	Mínimo	Máximo	D.E.	N
Emisión CH ₄ (Kg día ⁻¹)	Septiembre	4,3	0,2	14,6	1,6	438
	Diciembre	3,8	0,3	22,2	2,0	677
Concentración CH ₄ (mg·m ⁻³)	Septiembre	4,2	0,0	10,9	2,0	499
	Diciembre	3,9	1,1	7,4	1,0	679

N = Número de observaciones

Influencia de la ventilación y de la frecuencia de extracción de gallinaza

Los resultados se obtuvieron a partir de dos períodos del año, con diferentes temperaturas y, por tanto, con diferentes patrones de ventilación. El período más cálido fue el comprendido entre principios de agosto y finales de octubre, con una temperatura media exterior de 18,5 °C. El período más frío correspondía a los meses noviembre y diciembre, con una temperatura media de 11,8 °C (Tabla 18).

Los caudales de ventilación que se encontraron fueron proporcionales a la temperatura exterior ($R^2 = 0,8$; $P < 0,001$), siendo dos veces mayor en la estación cálida con respecto a la fría, con 69 y 29 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ de caudal medio, respectivamente. Sin embargo, la emisión de CH_4 no difirió significativamente ($P > 0,05$).

Tabla 18: Media y desviación estándar de los registros ambientales y medidas de CH_4 de ambos períodos.

	Agosto-Octubre	Noviembre-Diciembre
	Promedio \pm D.E.	Promedio \pm D.E.
Datos ambientales	N= 8829	N= 5850
Temperatura interior, °C	24.1 \pm 1.3	22.5 \pm 0.6
Temperatura exterior, °C	18.5 \pm 4.4	11.8 \pm 2.9
HR interior, %	66.7 \pm 7.5	60.9 \pm 6.2
HR exterior, %	71.0 \pm 11.0	77.6 \pm 9.2
Medidas de gases	N= 1705	N= 1397
Δ de concentración de CH_4	0.8 \pm 0.4	1.6 \pm 0.4
Emisión de CH_4 , kg/ h	3.6 \pm 1.7	4.0 \pm 1.9

N: número de medidas consideradas

De acuerdo con los resultados, no se ha podido identificar ningún efecto de la frecuencia de extracción de estiércol o prácticas de limpieza de la cinta en la emisión de CH_4 , durante ambos períodos estudiados (Figura 28 y 29).

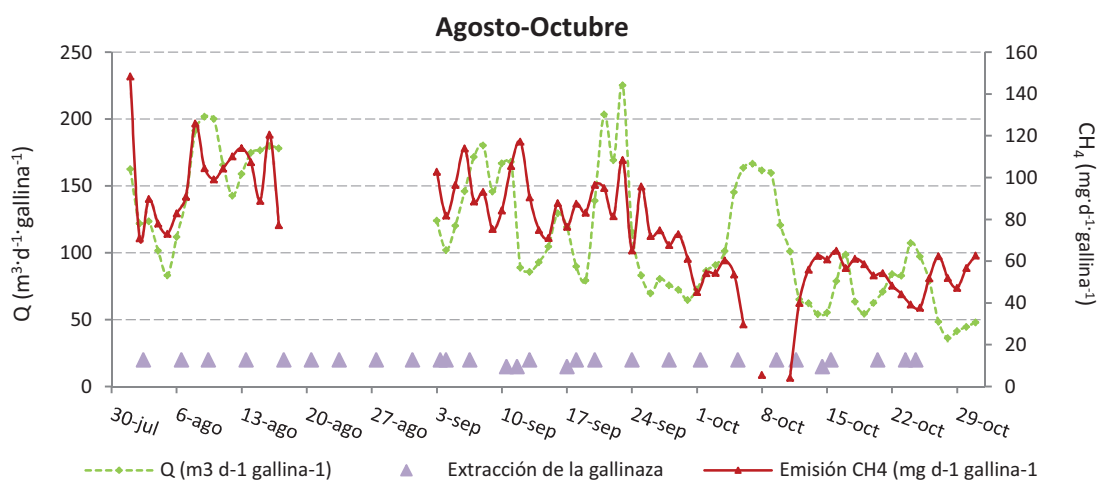


Figura 28: Modelo de las emisiones diarias de CH_4 (kg día^{-1}) en el periodo de agosto a octubre.

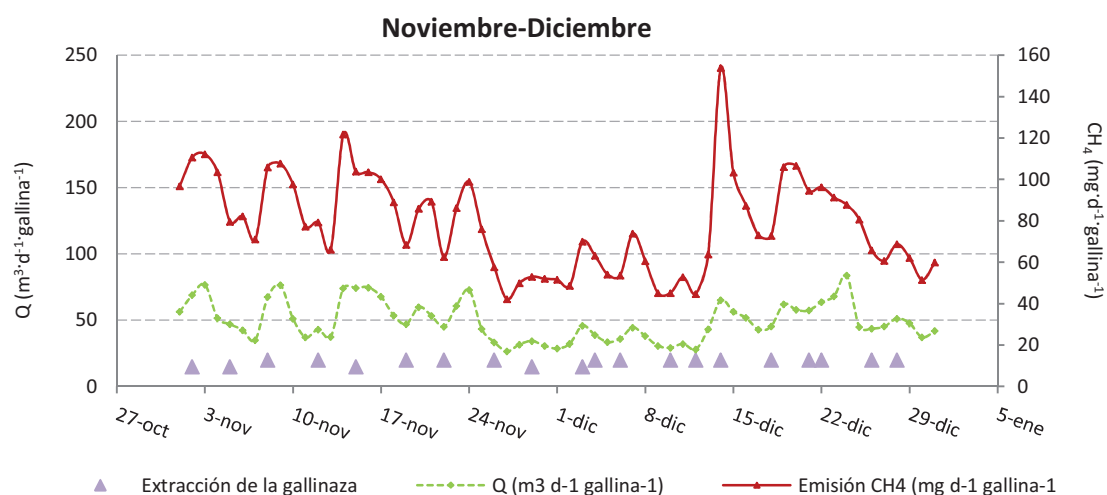


Figura 29: Modelo de las emisiones diarias de CH_4 (kg día^{-1}) en el periodo de noviembre a diciembre.

Se observa una gran relación entre la ventilación y la emisión coincidiendo en muchos casos los picos de ambos factores. Los puntos que identifican la extracción, en cambio, son precedidos tanto por tendencias de aumento como de disminución de la emisión.

Dióxido de carbono

Emisión total

La media de emisión de CO₂ ha sido de $68,3 \pm 24,0 \text{ g d}^{-1} \text{ gallina}^{-1}$, mientras que Fournel y col. (2011) registraban una emisión de $77,3 \pm 19,4 \text{ g d}^{-1} \text{ gallina}^{-1}$. Como ocurre con el NH₃ la concentración ha sido inversa a la ventilación siendo en invierno de media en torno a un 40% superior a la de verano.

Los valores de emisión son bastante constantes, aunque sí es apreciable cierta diferencia según la época del año. La actividad respiratoria de las aves varía, ya que utilizan la respiración para su termorregulación.

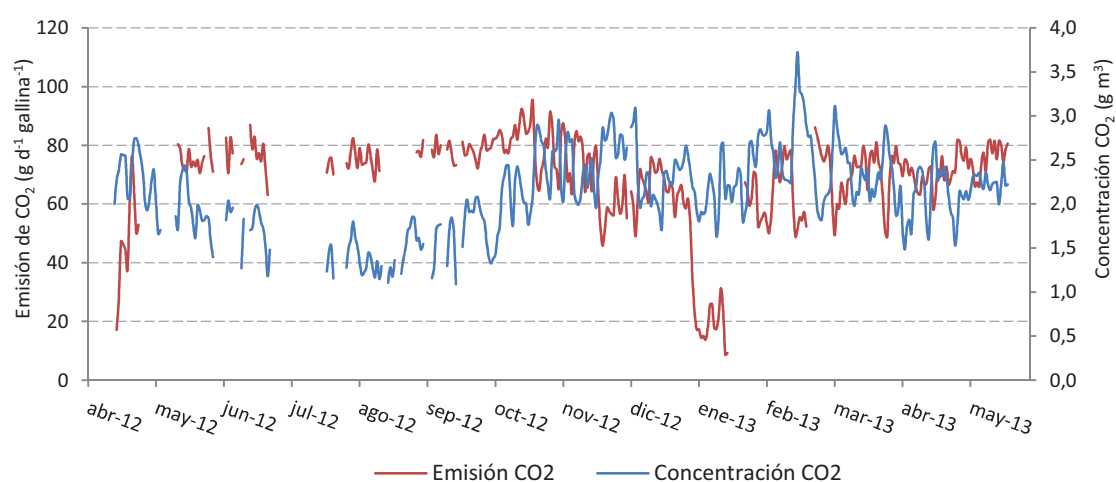


Figura 30: Emisión y concentración de CO₂ a lo largo del estudio.

La relación entre la actividad de la gallina y la generación de CO₂ es muy notoria. En la figura 31 se puede observar como la emisión sube de forma clara con el comienzo del día y por consiguiente con la actividad de los animales. La ventilación aumenta considerablemente más adelante y en consecuencia la concentración baja. La emisión tiene durante el día forma de meseta, que entre las 20:00 y 22:00 horas desciende, momento en el que los animales se preparan para descansar.

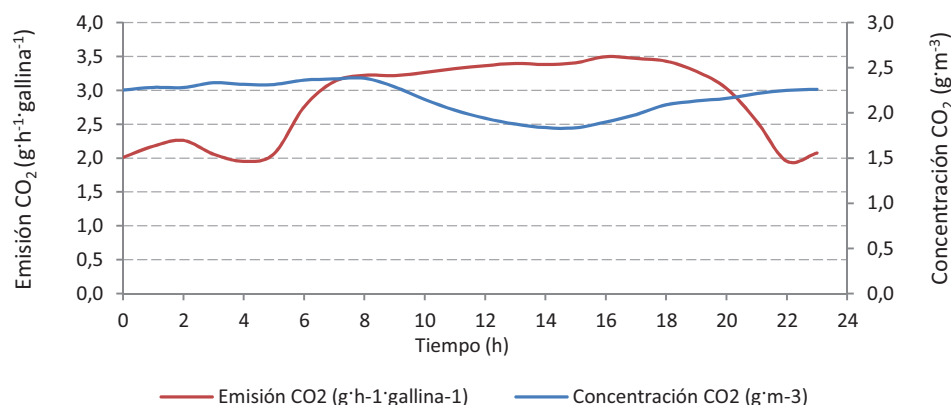


Figura 31: Evolución de la emisión y concentración de CO₂ a lo largo del día.

Aunque la máxima emisión media ha sido en verano y la mínima en invierno, la máxima absoluta de verano es la más baja de las máximas absolutas, de todas ellas la más alta se dio en primavera. La concentración en cambio fue más alta en invierno, tanto como valor medio como valor máximo puntual (Tabla 19).

Tabla 19: Emisión y concentración de CO₂ en las diferentes estaciones.

Dióxido de Carbono (CO ₂)					
Invierno	Promedio	Mínimo	Máximo	D.E.	N
Concentración (g m ⁻³)	2,4	1,3	4,2	0,5	2.159
Δ de concentración (g m ⁻³)	1,4	0,1	3,2	0,5	2.158
Emisión (kg h ⁻¹)	120,2	4,2	275,4	59,2	1.872
Emisión (g d ⁻¹ ave ⁻¹)	56,5	2,0	130,0	27,9	1.872
Primavera	Promedio	Mínimo	Máximo	D.E.	N
Concentración (g m ⁻³)	2,1	1,0	3,4	0,5	2.658
Δ de concentración (g m ⁻³)	1,2	0,0	2,3	0,4	2.657
Emisión (kg h ⁻¹)	150,9	0,2	402,1	47,6	2.347
Emisión (g d ⁻¹ ave ⁻¹)	70,5	0,1	189,9	22,3	2.347
Verano	Promedio	Mínimo	Máximo	D.E.	N
Concentración (g m ⁻³)	1,5	1,0	2,6	0,4	1.085
Δ de concentración (g m ⁻³)	0,8	0,2	1,7	0,3	1.085
Emisión (kg h ⁻¹)	166,4	81,9	226,0	25,0	844
Emisión (g d ⁻¹ ave ⁻¹)	76,6	37,8	104,1	11,5	844
Otoño	Promedio	Mínimo	Máximo	D.E.	N
Concentración (g m ⁻³)	2,3	1,0	4,0	0,5	2.144
Δ de concentración (g m ⁻³)	1,4	0,3	2,8	0,4	2.144
Emisión (kg h ⁻¹)	157,5	38,0	319,2	47,3	2.144
Emisión (g d ⁻¹ ave ⁻¹)	73,0	17,6	148,0	21,9	2.144
TOTAL	Promedio	Mínimo	Máximo	D.E.	N
Concentración (g m ⁻³)	2,2	1,0	4,2	0,5	8.046
Δ de concentración (g m ⁻³)	1,2	0,0	3,2	0,5	8.044
Emisión (kg h ⁻¹)	146,7	0,2	402,1	51,5	7.207
Emisión (g d ⁻¹ ave ⁻¹)	68,3	0,1	189,9	24,0	7.207

* Invierno (enero, febrero, marzo); Primavera (abril, mayo, junio); Verano (julio, agosto, septiembre); Otoño (octubre, noviembre, diciembre).

** Cálculos realizados sobre valores horarios.

N = Número de observaciones

La concentración media durante todo el periodo fue de $2,2 \pm 0,5$ g m⁻³ valor inferior a los $4,1 \pm 1,7$ g m⁻³ registrados por Ni y col. (2010). Como ya se ha comentado anteriormente las condiciones climáticas más extremas y el tipo de manejo pueden explicar esta diferencia.

Óxido Nitroso

Emisión total

Tanto las emisiones como las concentraciones de N_2O son muy bajas, siendo en algunos casos imperceptibles. El rango de concentración que se ha detectado durante el periodo de muestreo ha oscilado de 0,1 a 2,1 mg m^{-3} , es decir una diferencia de 2 mg m^{-3} .

Tabla 20: Emisión y concentración de N_2O en las diferentes estaciones.

Óxido Nitroso (N_2O)					
Invierno	Promedio	Mínimo	Máximo	D.E.	N
Concentración (mg m^{-3})	0,7	0,4	1,1	0,1	2159
Δ de concentración (mg m^{-3})	0,1	0,0	0,4	0,0	2081
Emisión (g h^{-1})	7,3	0,1	32,7	4,3	1795
Emisión ($\text{mg d}^{-1} \text{ave}^{-1}$)	3,4	0,1	15,3	2,0	1795
Primavera	Promedio	Mínimo	Máximo	D.E.	N
Concentración (mg m^{-3})	0,6	0,4	2,1	0,1	2658
Δ de concentración (mg m^{-3})	0,1	0,0	1,5	0,1	2449
Emisión (g h^{-1})	9,2	0,0	199,4	8,0	2220
Emisión ($\text{mg d}^{-1} \text{ave}^{-1}$)	4,3	0,0	94,6	3,8	2206
Verano	Promedio	Mínimo	Máximo	D.E.	N
Concentración (mg m^{-3})	0,6	0,5	0,8	0,1	1085
Δ de concentración (mg m^{-3})	0,0	0,0	0,2	0,0	976
Emisión (g h^{-1})	7,8	0,1	27,3	4,2	757
Emisión ($\text{mg d}^{-1} \text{ave}^{-1}$)	3,6	0,0	12,6	1,9	757
Otoño	Promedio	Mínimo	Máximo	D.E.	N
Concentración (mg m^{-3})	0,4	0,1	1,3	0,2	2144
Δ de concentración (mg m^{-3})	0,1	0,0	0,3	0,0	660
Emisión (g h^{-1})	9,8	0,1	43,4	4,8	663
Emisión ($\text{mg d}^{-1} \text{ave}^{-1}$)	4,6	0,0	20,1	2,2	660
TOTAL	Promedio	Mínimo	Máximo	D.E.	N
Concentración (mg m^{-3})	0,6	0,1	2,1	0,2	8046
Δ de concentración (mg m^{-3})	0,1	0,0	1,5	0,0	6166
Emisión (g h^{-1})	8,5	0,0	199,4	6,2	5435
Emisión ($\text{mg d}^{-1} \text{ave}^{-1}$)	4,0	0,0	94,6	2,9	5418

* Invierno (enero, febrero, marzo); Primavera (abril, mayo, junio); Verano (julio, agosto, septiembre); Otoño (octubre, noviembre, diciembre).

** Cálculos realizados sobre valores horarios.

N = Número de observaciones

No se ve ninguna influencia de la estación, respecto a los valores de concentración y emisión. La emisión máxima se produjo en primavera, con un valor que sobresale respecto a los demás, por lo que

hay que tomarlo con cautela. La mínima, en cambio fue 0 tanto en la concentración como en la emisión, es decir fue indetectable, situación que se produjo con cierta frecuencia durante todo el año.

Si comparamos estos resultados con los valores obtenidos por Fournel y col. (2011), de $7,1 \pm 5,6$ $\text{mg d}^{-1} \text{ gallina}^{-1}$, son bajos, aunque si los comparamos con Dekker y col. (2011), podemos observar unos valores muy similares de concentración (0,4; 0,5; 0,6 mg m^{-3}) y de emisión (3,7; 2,2; 3,9 $\text{mg d}^{-1} \text{ gallina}^{-1}$). Fabbri y col. (2007), por su parte menciona que el N_2O era indetectable.

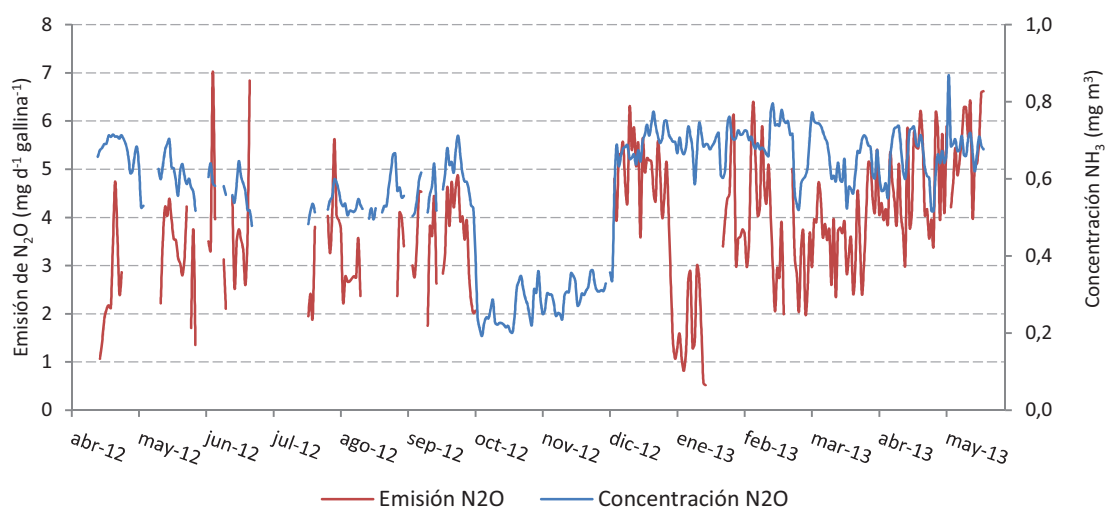


Figura 32: Emisión y concentración de N_2O a lo largo del estudio.

Conclusiones

De los resultados obtenidos en la realización de este proyecto fin de carrera basado en este ensayo, se puede concluir que:

El NH_3 se ve afectado por la estacionalidad siendo la emisión de verano de $123,4 \text{ mg d}^{-1} \text{ gallina}^{-1}$ frente a los $71,3 \text{ mg d}^{-1} \text{ gallina}^{-1}$ de invierno. Las emisiones de NH_3 están afectadas por la frecuencia de extracción de la gallinaza, siendo la emisión el cuarto día tras la limpieza de las cintas de $11 \text{ mg d}^{-1} \text{ ave}^{-1}$, 5 veces superior a la emisión inmediatamente después de la extracción de la gallinaza, que es de $2,3 \text{ mg d}^{-1} \text{ ave}^{-1}$. El constante aporte de heces a la cinta junto con el tiempo de acumulación, favorecen la generación de NH_3 . La disminución en 1 día del intervalo entre las extracciones supondría un descenso del 25% de las emisiones, mientras que si la reducción fuese de 2 días sería del 42%.

Por consiguiente, el incremento de la frecuencia de la limpieza de las cintas puede ser una realista Mejor Técnica Disponible (MTD) para reducir las emisiones de NH_3 en granjas de gallinas ponedoras. Teniendo en cuenta las peculiaridades de cada explotación y el coste económico que supondría en cada caso, podría ser una medida fácil de adoptar y con resultados notorios de disminución de la contaminación aérea.

La generación de CH_4 es constante a lo largo del año, siendo la emisión media de $69,8 \pm 47,8 \text{ mg d}^{-1} \text{ gallina}^{-1}$, muy similar en todas las estaciones. Las emisiones de CH_4 no están afectadas por la frecuencia de extracción de la gallinaza en las condiciones de esta explotación, ni por las diferentes tasas de ventilación. En cambio, la emisión de CH_4 si sigue un patrón horario, incrementándose durante el día y decreciendo por la noche. La actividad de las gallinas puede ser uno de los factores implicados.

El CO_2 se ve levemente afectado por la estacionalidad siendo la emisión media de verano de $76,6 \text{ g d}^{-1} \text{ gallina}^{-1}$ frente a los $56,5 \text{ mg d}^{-1} \text{ gallina}^{-1}$ de invierno. La emisión de CO_2 también sigue un patrón horario, incrementándose durante el día y decreciendo por la noche. Las emisiones diurnas son un 50-75% superior que las nocturnas. La actividad de las gallinas puede ser uno de los factores implicados.

Las concentraciones de N_2O son despreciables en sistemas de explotación avícola de puesta, como ya ha sido comprobado con anterioridad.

Se aprecia la necesidad de estudios de larga duración que contemplen distintas condiciones climatológicas y que reflejen el efecto que tienen diferentes parámetros de manejo en las emisiones.

Bibliografía

- Al-mashhadani, E.H., Beck, M.M., 1983. An SEM study of pulmonary ultrastructure in chickens subjected to various levels of atmospheric ammonia. *Poult. Sci.* 62, 1715–1716.
- Anderson, D.P., Beard, G.W., Hanson, R.P., 1964. The adverse effects of ammonia on chickens including resistance to infection with Newcastle disease virus. *Avian Dis.* 8, 369–379.
- ASHRAE, 2001. ASHRAE Fundamentals Handbook e Printed edition. Atlanta, Georgia: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc.
- BREF, 2004. Prevención y control integrados de la contaminación (IPPC). Documento de referencia de Mejores Técnicas Disponibles en la Cría Intensiva de Aves de Corral y Cerdos. Ministerio de Medio Ambiente.
- Brunsch R, Hornig G, Muller HJ, Jelinek A, 2002. Emission from Laying hens kept in battery cages and aviary systems. *Proceedings of International conference Ageng 2002 Budapest*, 189-190.
- Burton CH, Turner C, 2003. Manure management. Treatment strategies for sustainable agriculture, 2nd edition. Silsoe Research Institute, Bedford, UK..
- Calvet S, Cambra-López M, Blanes-Vidal V, Estellés F, Torres A.G, 2010. Ventilation rates in mechanically ventilated commercial poultry buildings in Southern Europe: Measurement system development and uncertainty analysis. *Biosystems Engineering* 106, 423–432.
- Carr LE, Wheathon FW, Douglass LW, 1990. Empirical models to determine ammonia concentrations from broiler chicken litter. *Transaction of the ASAE* 25, 413-424.
- Chadwick D.R, Sneath R.W, Phillips V.R, Pain B.F, 1999. A UK Inventory of Nitrous Oxide Emissions from Farmed Livestock. *Atmos. Environ.* 1999, 33, 3345-3354.
- Lynch J, 1999. A UK Inventory of Nitrous Oxide Emissions from Farmed Livestock. *Atmos. Environ.* 1999, 33, 3345-3354.
- Chepete J.H, Xin H, Li H, 2011. Ammonia Emissions of Laying-Hen Manure as Affected by Accumulation Time. *J.Polt. Sci.* 48, 133-138.
- CORINAIR 2007, website <http://reports.Eea.europa.eu/EMEPCORINAIR5/en/B1090vs2.pdf>
- Curtis, S.E., Drummond, J.G., 1982. Air environment and animal performance. In: R. Jr. _Ed., CRC
- da Borso F, Chiumenti R, 1998 Poultry Housing and Manure Management Systems: Recent Developments in Italy as Regards Ammonia Emissions. In *Proceedings of the 8th International Conference of the FAO ESCORENA Network on Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture*, Rennes, France, 26–29 May 1998; pp. 15-21
- Dawkins, M.S., Donnelly, C.A., Jones, T.A., 2004. Chicken welfare is influenced more by housing conditions than by stocking density. *Nature* 427, 342-344.

- Dekker S, Aarnink A, de Boer I, Koerkamp G, 2011. Emissions of ammonia, nitrous oxide, and methane from aviaries with organic laying hen husbandry. *Biosystems engineering* 110, 123–133.
- EUSTAT, 2011. Euskal Estatistika Erakundea (The Basque Country Statistics Office). <http://www.eustat.es/>.
- Fabbri C, Valli L, Guarino M, Costa A, Mazzotta V, 2007. Ammonia, methane, nitrous oxide and particulate matter emissions from two different buildings for laying hens. *Biosystems Engineering* 97, 441-455.
- Fangmeier A, Hadwiger-Fangmeier A, Van der Eerden L, Jager HJ, 1994. Effects of atmospheric ammonia on vegetation-A review. *Environm. Poll.* 86, 43-82.
- FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of United Nations. www.faostat.fao.org
- Feddes, J.J.R., Licsko, Z.J., 1993. Air quality in commercial turkey housing. *Can. Agric. Eng.* 35, 147–150.
- Fournel S, Pelletier F, Godbout S, Lagacé R, Feddes J, 2011. Greenhouse Gas Emissions from Three Cage Layer Housing Systems. *Animals*, 2, 1-15.
- Fournel S, Pelletier F, Godbout S, Lagacé R, Feddes J, 2012. Odour emissions, hedonic tones and ammonia emissions from three cage layer housing systems. *Biosystems engineering* 112, 181–191.
- García I, 2010. Caracterización de sistemas de gestión de deyecciones. Sector avícola de puesta. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- Garcia I, Bigeriego M, Canales C, Comenares M^a, 2010. Guía de Mejores Técnicas Disponibles del sector de la avicultura de puesta. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- Groot Koerkamp PWG, 1994. Review of emissions of ammonia from housing systems for laying hens in relation to sources, processes, building design and manure handling. *Journal of Agricultural Engineering Research* 59, 73-87.
- Gustaffsson G, 2002. Reducing ammonia release in floor housing systems for laying hens by daily manure removal of manure below slatted floor. *Proceeding of International Conference Ageng 2002 Budapest*, 187-188.
- Handbook of Agricultural Productivity. Miloslav, Animal Productivity Vol. 2 CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 107–118.
- Inventario Español de Gases Efecto Invernadero. <http://www.magrama.gob.es/es/>
- Koerkamp G, Bleijenberg R, 1998. Effect of type of aviary housing system and manure and litter handling on the kinetics of ammonia emission from layer houses. *British Poultry Science*, 39(3), 379-392.
- Kristensen H, Burgess L, Demmers T, Wathes C, 2000. The preferences of laying hens for different concentrations of atmospheric ammonia. *Applied Animal Behaviour Science* 68, 307–318.

- Kruska RL, Reid PS, Thornton PK, Heininger N, Kristjanson PM, 2003. Mapping livestock-oriented agricultural production systems for the developing world. *Agricultural Systems* 77,39-63.
- Liang Y, Xin H, Wheeler EF, Gates RS, Li H, Zajackowski JS, Topper PA, Casey KD, Behrends BR, Burhnham JD, Zajackowski FJ, 2005. Ammonia emissions from U.S. Laying hen houses in Iowa and Pennsylvania. *Transactions of the ASAE* 48, 1927-1941.
- Malone G, 2002. Ammonia and Grower Health. *Poultry Perspectives*, volume 4, number 1, p.3.
- Menzi H, Oenema O, Burton C, Shipin O, Gerber P, Robinson T, Franceschini G, 2010. Impacts of intensive livestock production and manure management on the environment. In *livestock in a changing landscape*, vol. 1: drivers, consequences, and responses. pp. 139-163. Islands Press, Washington, DC, USA.
- Muck RE, 1981. Urease activity in bovine feces. *Journal of Dairy Science* 65, 2157-2163.
- Ni J, Chai L, Chen L, Bogan B, Wang K, Cortus E, Heber A, Lim T, Diehl C, 2012. Characteristics of ammonia, hydrogen sulfide, carbon dioxide, and particulate matter concentrations in high-rise and manure-belt layer hen houses. *Atmospheric Environment* 57, 165-174
- Nicholson FA, Chambers BJ, Walker AW, 2004. Ammonia Emission from Broiler Litter and Laying Hen Manure Management Systems. *Biosystems Engineering* 89, 175-185.
- Oyetunde, O.O.F., Thomson, R.G., Carlson, H.C., 1978. Aerosol exposure of ammonia, dust and *Escherichia coli* in broiler chickens. *Can. Vet. J.* 19, 187-193.
- Oenema O, Oudendag D, Velthof GL, 2007. Nutrient losses from manure management in the European Union. *Livestock Science* 112, 261-272.
- Portejoie, S., Martinez, J., Landmann, G., 2002. L'ammoniac d'origine agricole: impacts sur la santé humaine et animale et sur le milieu naturel. *Productions Animales* 15, 151-160.
- Petersen SO, Blanchard M, Chadwick D, Del Prado A, Edouard N, Mosquera J, Sommer SG, 2013. Manure management for greenhouse gas mitigation.
- Peyraud JL, Cellier P, Donnars C, Rechauchere O, 2012. Le flux d'azote liés aux élevages, réduire les pertes, rétablir les équilibres. *Expertise scientifique collective, synthèse du rapport*. INRA (France), pp. 1-68.
- Steinfeld H, Gerber P, Wassenaar T, Castel V, Rosales M, & de Haan C, 2006. *Livestock's long shadow, environmental issues and options*. Rome: Food and agricultural organization (FAO) of the United Nations (UN).
- Visek, W.J., 1968. Some aspects of ammonia toxicity in animal cells. *J. Dairy Sci.* 51, 286.
- Von Wachenfelt E, Pedersen S, Gustafsson G, 2001. Release of heat, moisture and carbon dioxide in aviary system for laying hens. *British Poultry Science* 42, 171-179.
- Wathes CM, Holden MR, Sneath RW, White RP, Phillips VR, 1997. Concentrations and emission rates of aerial ammonia, nitrous oxide, methane, carbon dioxide, dust, and endotoxin in U.K. broiler and layer houses. *British Poultry Science* 38, 14-28.
- Wathes, C.M., 1998. Aerial emissions from poultry production. *World's Poultry Sci. J.* 54, 1-11.

- Webb J, Menzi H, Pain B, Misselbrook T, Dämmgen U, Hendricks H, Döhler H, 2005. Managing ammonia emissions from livestock production in Europe. *Environmental Pollution* 135, 399-406.
- Ye Z, Zhang G, Li B, Strom J, Tong G, Dahl P, 2008. Influence of airflow and liquid properties on the mass transfer coefficient of ammonia in aqueous solutions. *Biosystems engineering* 100, 422-434.

Anexos

En estos anexos se muestran las diferentes comunicaciones que se han realizado con parte del trabajo mostrado en este Trabajo Fin de Carrera, en diferentes congresos celebrados durante el año 2013.

- A. REMEDIA Workshop 2013
 - a. Abstract
 - b. Diapositivas, presentación oral
- B. RAMIRAN 2013
 - a. Abstract
 - b. Poster
- C. GGAA 2013
 - a. Abstract
 - b. Poster

REMEDIA Workshop 2013

Abstract

METHANE EMISSION FROM A LAYING HEN HOUSE IN SPAIN

Alberdi Oier¹, Estellés Fernando², Arriaga Haritz¹, Calvet Salvador², Merino Pilar¹

(1) NEIKER-Tecnalia, Environment Quality Department, 48160, Derio (Bizkaia), SP

(2) Universitat Politècnica de Valencia, Institute of Animal Science and Technology, 46022, Valencia, SP

pmerino@neiker.net

1. Introduction

Methane (CH₄) is derived in solid manure-based housing systems from the degradation of organic matter. Indoor CH₄ levels are greatly influenced by management factors, such as housing type, manure handling and ventilation rates.

Previous scientific literature exists considering different systems in egg production facilities (e.g., littered floor vs. cage housing) or different management schemes (e.g., manure removal frequency or drying method in manure belt housing systems) Fabbri et al (2007). At present, to our knowledge, there is scarce information of methane emissions from laying hen facilities, particularly those adapted to welfare directive 1999/74/CE. Results are the first obtained in Spain for this type of production, considering manure management and different ventilation pattern in response to outdoor conditions.

2. Material and Methods

The study was carried out in a commercial laying hen building with approximately 54000 Lohmann-Brown hens housed in a vertical tiered cage system adapted to Directive 1999/74/CE. Other four laying hen units of similar size were close to this facility, housing in total 250,000 laying hens. The building was 17m wide and 66m long and enriched cages were arranged in 6 rows of 9 tier cages each. The hens were fed *ad libitum* with a commercial diet containing 17.7% crude protein. Inlet and outlet air temperature and relative humidity were monitored and recorded every 15 min using data loggers (HOBO, U12-013).

Ventilation rate was measured under the usual rearing conditions of the farm following Calvet et al (2010) methodology. The average percentage of operation of each fan was obtained every 5 minutes. An electronic data logger system converted every second the electric signal from each fan into digital data on fan status. Each fan was individually calibrated for airflow rate at different levels of pressure drop associated to each ventilation programme (2-31 Pa). The air was ducted 30 cm from each fan and the air velocity was measured at 25 different locations in the section [ASHRAE, 2001] using a hot wire anemometer (Testo 425). A ventilation performance curve was obtained according to the average values obtained from all fans. Pressure drop in the building was controlled and recorded every 5 min by a pressure drop meter.

Methane concentrations were measured continuously by a Photoacoustic infrared gas analyser (INNOVA 1412) from April to December 2012. Air samples were taken from the air stream from 8 exhaust fans and from 4 outdoor points. Methane emission was

determined by multiplying the housing ventilation rate by the difference in concentration between the point of emission and the incoming air.

Manure removal from belts occurred from 3 to 4 times per week. All these operations were recorded by the company's staff.

3. Results

Results are reported for two periods of the year differing in temperatures and thus, ventilation patterns. The warm period lasted from August to October, with an average outdoor temperature of 18.5°C. The cold period took from November to December, with an average temperature of 11.8°C (Table 1). Ventilation rate was found proportional to outdoor temperature (correlation coefficient = 0.8 $P < 0.001$), being twice higher in the warmer season with respect to the cold one, with 36.7 and 15.7 % of time in which fans were operating, respectively. However, CH₄ emission did not differ significantly ($P > 0.05$).

Table 1. Mean and standard deviation of environmental records and CH₄ measurements of the two periods.

	August-October	November-December
	Means \pm sd	Means \pm sd
Ambiental records	N= 8829	N= 5850
Indoor temperature, °C	24.1 \pm 1.3	22.5 \pm 0.6
Outdoor temperature, °C	18.5 \pm 4.4	11.8 \pm 2.9
Indoor RH, %	66.7 \pm 7.5	60.9 \pm 6.2
Outdoor RH, %	71.0 \pm 11.0	77.6 \pm 9.2
Gaseous measurements	N= 1705	N= 1397
Δ CH ₄ concentration	0.8 \pm 0.4	1.6 \pm 0.4
CH ₄ emission, kg/ h	3.6 \pm 1.7	4.0 \pm 1.9

N: number of measurements considered

According to our results, we could not identify any effect of manure extraction frequency or belt cleaning practices on CH₄ emission, in any of the two studied periods.

No effect of manure management was observed on CH₄ emissions during both periods of measurements (Fig 1).

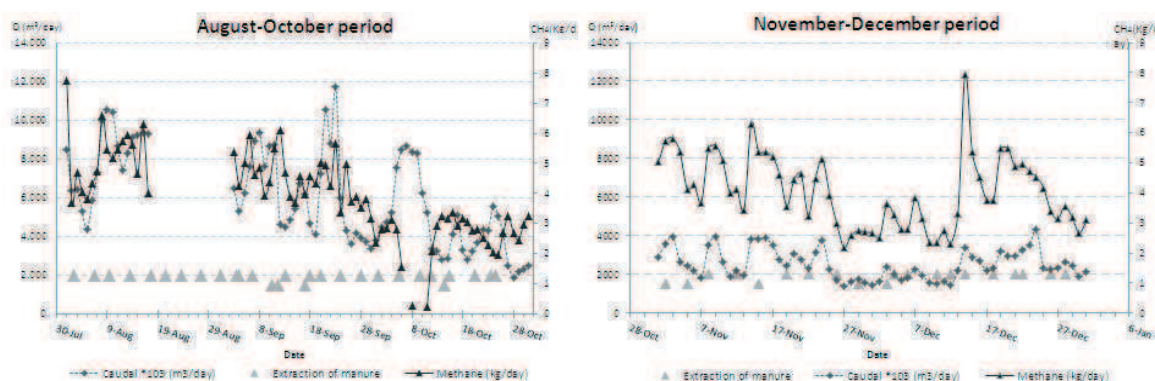


Fig. 1: Pattern of daily CH₄ emissions (kg/day) on each period.

4. Conclusion and perspectives

Average CH₄ emission from the laying hen facility was similar in a warm and a cold period in spite of the different ventilation regimes observed, probably due to the natural negative correlation between ventilation rates and gas concentrations in livestock houses.

CH₄ emissions were not affected by manure removal practices.

References

Fabbri C, Vallia L, Guarino M, Costa A, Mazzotta V, 2007. Ammonia, methane, nitrous oxide and particulate matter emissions from two different buildings for laying hens. *Biosystems Engineering* 97, 441–455.

Calvet S, Cambra-López M, Blanes-Vidal V, Estellés F, Torres A.G, 2010. Ventilation rates in mechanically ventilated commercial poultry buildings in Southern Europe: Measurement system development and uncertainty analysis. *Biosystems Engineering* 106, 423–432.

ASHRAE, 2001. *ASHRAE Fundamentals Handbook e Printed edition*. Atlanta, Georgia: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc.

Diapositivas, presentación oral



Introducción

•La emisión de Metano (CH_4)
deriva de la degradación de la
materia orgánica.

Factores que influyen:

- El tipo de alojamiento
- El manejo del estiércol
- El nivel de ventilación



Introducción



Emisión de CH₄ en explotaciones de ponedoras



• Escasa información.

- ✓ Sobre todo en granjas adaptadas a la directiva 1999/14/CE.

Estudio de Larrabe

¿QUE pretende este estudio?

Determinar emisiones

Gases de efecto invernadero y amoníaco

¿Desde que PERSPECTIVA?

- MTD-s
- Mitigación

¿COMO?

Estudio detallado de una granja tipo.



Estudio de Larrabe

¿DONDE?

En la explotación "Larrabe oilategia"

- ❖ Fika (Bizkaia).
- ❖ Empresa familiar.
- ❖ Una de las más grandes de Euskadi.

Nave objeto de estudio:

- ❖ 53.000 gallinas de puesta.
- ❖ Jaulas adaptadas a la nueva directiva de bienestar.
- ❖ Recogida de heces en cintas.
- ❖ Temperatura interna controlada por un automata.

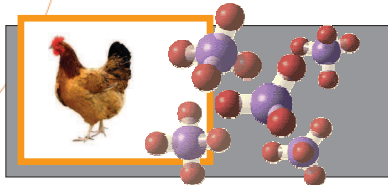


Larrabe
Oilategia

neiker
tecnalia

Variables controladas

1. Control de la concentración de gases



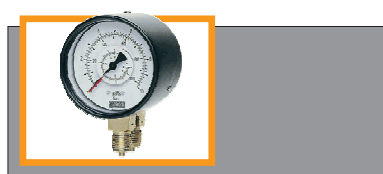
2. Registro de la ventilación



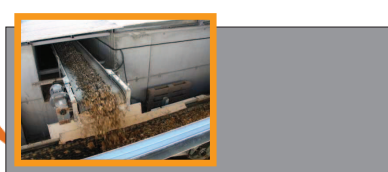
3. Registro de temperatura y humedad



4. Registro de presión diferencial



5. Análisis químico de las excretas



6. Análisis químico del pienso



1. Concentración de gases

Equipo de medida

Analizador fotoacústico de gases
INNOVA-1412 acoplado al
multisampler INNOVA 1309.



1. Concentración de gases

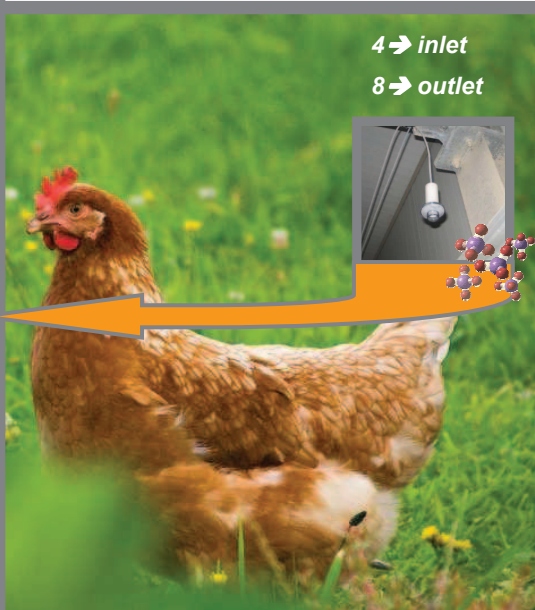
Equipo de medida

Analizador fotoacústico de gases
INNOVA-1412 acoplado al
multisampler INNOVA 1309.



Procedimiento de análisis

- Muestreo automatizado.
- 4 puntos de entrada.
- 8 puntos de salida.
- Frecuencia: 20 minutos.



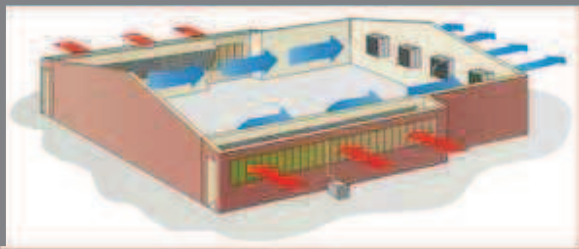
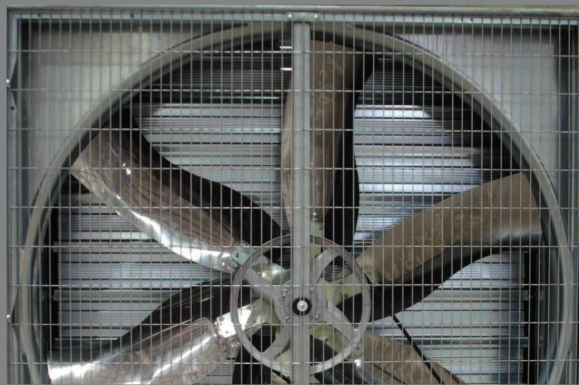
2. Registro de la ventilación

Equipo de ventilación

- **18 ventiladores:**
 - Divididos en 4 grupos
 - Se convinan en **9 niveles de ventilación**.
- Automata: activa cada nivel segun la temperatura.
- Ventanas laterales: Apertura automática
- Refrigeracion "**cooling**".

Registro de la ventilación.

- Datalogger

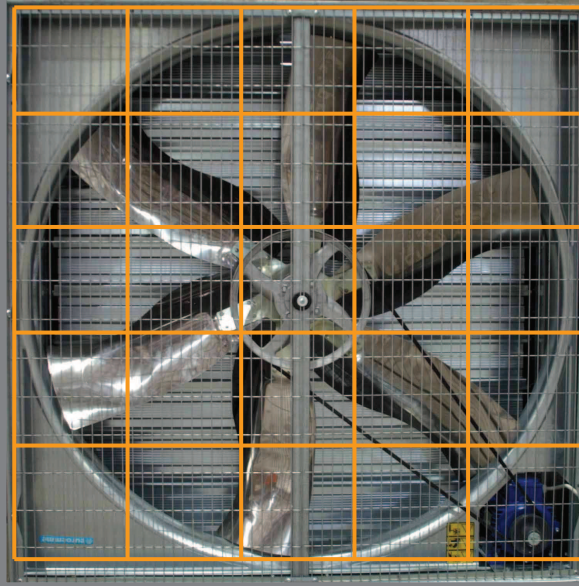


2. Registro de la ventilación



Evaluación de los ventiladores

- Anemómetro Testo425
- 25 puntos en cada ventilador
- Diferentes depresiones.



2. Registro de la ventilación



Evaluación de los ventiladores

- Anemómetro Testo425
- 25 puntos en cada ventilador
- Diferentes depresiones.

8,15	8,01	7,81	7,22	7,39
6,97	6,07	5,74	5,87	6,47
6,27	5,83	5,14	5,94	6,12
6	6,01	5,97	6,06	6,2
6,75	7,07	7,86	7,11	6,61



3. Temperatura y humedad



➤ Registro:

- ❖ 2 en las entradas.
- ❖ 2 en las salidas.
- ❖ 1 en el exterior.

➤ Frecuencia:

- + 15 minutos.

➤ Equipo de medida:

- + HOBO U12-013



4. Presión diferencial



➤ Registro:

- ❖ 1 manómetro de presión diferencial.

➤ Frecuencia:

- + Cada 5 minutos.

➤ Equipo de medida:

- + Veris PXULX05S





Estudio del CH₄

¿Cómo influye...

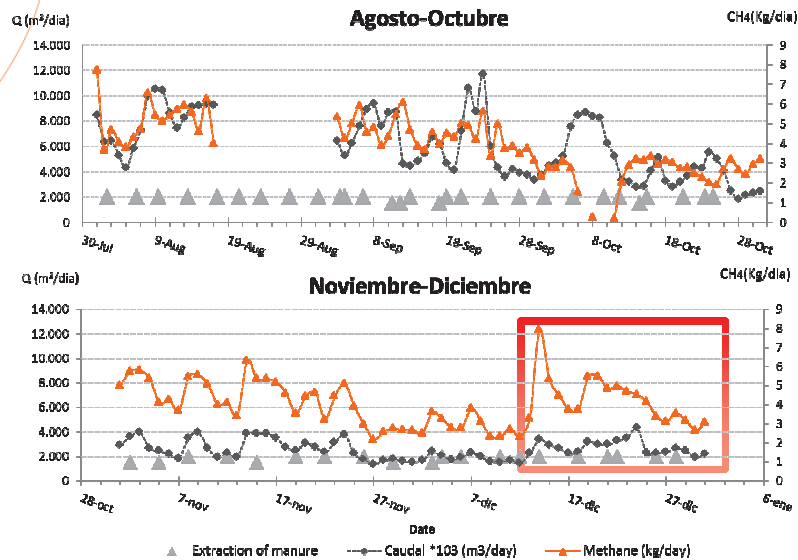
- El nivel de ventilación
- La frecuencia de extracción de las excretas

...?

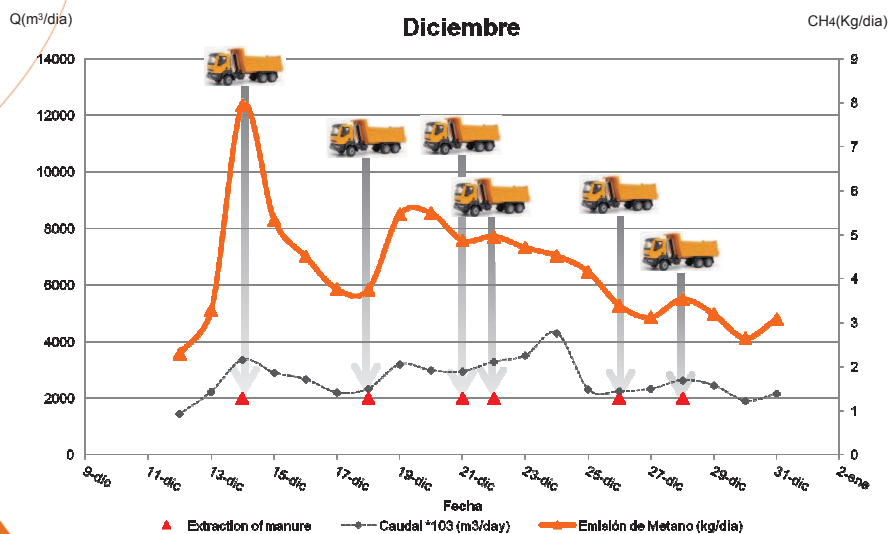
Resultados

	Agosto-Octubre	Noviembre-Diciembre
	Media ± ds	Media ± ds
Parametros ambientales		
Temperatura Interior, °C	24.1 ± 1.3	22.5 ± 0.6
Temperatura Exterior, °C	18.5 ± 4.4	11.8 ± 2.9
HR Interior, %	66.7 ± 7.5	60.9 ± 6.2
HR Exterior, %	71.0 ± 11.0	77.6 ± 9.2
Nivel de ventilación, %	36.7	15.7
Δ de concentración de CH ₄ , mg/m ³	0.8 ± 0.4	1.6 ± 0.4
Emisión de CH ₄ , kg/ h	3.6 ± 1.7	4.0 ± 1.9

Resultados



Resultados





Conclusiones:

La emisión de metano:

- ❖ No varía en función de la ventilación.
- ❖ No se ve afectada por la acumulación de la gallinaza.

Perspectivas :

- ☐ Análisis en condiciones menos semejantes.
- ☐ Analizar parametros como la edad o la dieta.

Emisión de metano en gallinas ponedoras



Gracias

Eskerrik asko

Oier Alberdi Arrieta
oalberdi@neiker.net

RAMIRAN 2013

Abstract

Ammonia emissions after manure belt cleaning operations in a laying hen house

Alberdi Oier¹, Estellés Fernando², Arriaga Haritz¹, Calvet Salvador², Merino Pilar¹

(1) NEIKER-Tecnalia, Environment Quality Department, 48160, Derio (Bizkaia), SP

(2) Universitat Politècnica de Valencia, Institute of Animal Science and Technology, 46022, Valencia, SP

pmerino@neiker.net

Introduction

Ammonia (NH₃) is one of the main pollutant gases associated with poultry operations. NH₃ affects both animal welfare and the environment.

Indoor NH₃ levels are greatly influenced by housing and management factors, such as housing type, bird age and density, manure handling and ventilation rates.

NH₃ from various European livestock production facilities, including poultry houses, have been widely investigated [1,2,3,4,5], but most of the published studies on laying hen units have been carried out in Central and North European countries. However, few studies are available at different climate conditions such as those in Southern Europe. These would be the first published results from a commercial laying hen adapted to welfare directive in Spain.

As a facility regulated by Directive 2010/75/EU on industrial emissions, laying hen farms need to adopt a best available technique or strategy that can prevent or limit emissions and at the same time, is sustainable. One strategy that can be easily adjusted to farmer's management is the frequency of manure removal. Previous studies have shown an influence of manure removal on NH₃ emissions [1,6,7,8] with discrepancies reported to be related to manure quality, dietary CP content, thermal conditions, ventilation rate, etc

The purpose of this study was to quantify gaseous NH₃ emissions from a laying hen house and to determine the effect of the belt cleaning frequency on such emissions.

Material and Methods

Approximately 52,000 Lohmann-Brown hens were housed in a commercial laying hen unit in a vertical tiered cage system adapted to Directive 1999/74/EC. The selection of the farm was based on its management practices being representative of the current egg production facilities in the Basque Country. The house was 17m wide and 66m long and enriched cages were arranged in 6 rows of 9 tier cages. The house was tunnel ventilated with 18 exhaust fans (Munters, EM50n). The hens were fed *ad libitum* with a commercial diet containing 16.7% crude protein. Samples of the rations were taken fortnightly for determination of nutrient content. Inlet and outlet air temperature and relative humidity were monitored and recorded every 15 min using data loggers (HOBO, U12-013) with a precision of $\pm 0.35^{\circ}\text{C}$ and 2.5% RH. In accordance with commercial practices, inside temperature was set at 23°C.

To guarantee the reliability of these results, gas concentrations and ventilation rates have been continuously measured from June to December 2012 to cover diurnal and seasonal effects.

Ventilation rate was measured under the usual rearing conditions of the farm [9]. The average percentage of operation of each fan was obtained every 5 minutes. An electronic data logger system converted every second the electric signal from each fan into digital data on fan status. Each fan was individually calibrated for airflow rate at different levels of pressure drop associated to each ventilation programme (2-31 Pa). The air was ducted 30 cm upstream from each fan and the air velocity was measured at 25 different locations in the section using a hot wire anemometer (Testo 425).

Ammonia concentrations were measured continuously by a photoacoustic infra red gas analyser (INNOVA 1412). Exhaust air samples were taken at 8 fans, whereas air inlet samples were taken at 4 outdoor points. Ammonia emission was determined by multiplying the housing ventilation rate by the difference between exhaust and outdoor concentrations.

Air from outside the building was blown from one end of the building to the other end, where fans at located, at a higher speed in summer due to a higher number of operating fans.

Manure was collected on belts under the cages and removed every 1 to 4 days. All operations were recorded by the company's staff and also the amount of manure removed from the building was weighed at the farm on each occasion. Manure from the belt was sampled fortnightly and analysed for DM, total N, ammoniacal N, OM and pH.

The number of hens was calculated by subtracting from the total initial amount of hens the hens that died and were taken out of the cages by the staff.

Emissions per hen (hens present in the hen house on the measurement day) were expressed in mg h^{-1} .

Results

Mean NH_3 emission during the period of study was $1.03 \text{ g h}^{-1} 500\text{kg}^{-1}[\text{lw}]$. Fabbri et al., 2007, reported a similar emission, with $1.64 \text{ g h}^{-1} 500\text{kg}^{-1}[\text{lw}]$, on the contrary Nicholson et al., 2004, found a higher emission ($3.3 \text{ g h}^{-1} 500\text{kg}^{-1}[\text{lw}]$) due the weekly frequency of belt cleaning [1,10].

Table 1. Temperature (T) and relative humidity (RH) inside and outside the hen house, ventilation rate, concentrations of ammonia (NH_3) outside and inside the hen house, emissions of NH_3 .

		Mean	SD	Min	Max
T ($^{\circ}\text{C}$)	Outside	16.69	4.77	3.17	29.79
	Inside	23.63	1.38	19.65	32.59
RH (%)	Outside	78.85	11.83	27.96	98.11
	Inside	64.60	7.53	32.06	82.65
Ventilation rate ($\text{m}^3 \text{h}^{-1} \text{hen}^{-1}$)		3.41	2.32	0.51	13.01
NH_3 conc (mg/m^3)	Outside	0.53	0.24	0.15	3.95
	Inside	1.95	1.32	0.29	10.35
NH_3 emission ($\text{mg hen}^{-1} \text{h}^{-1}$)		4.01	3.32	0.15	27.02

Inside the farm, temperature ranged around the set point temperature of 23°C . Table 2 shows results of manure analysis from 1 to 4 days after belt cleaning. pH of manure averaged 7.57, DM ranged from 18.84 % to 39.49%. As Carr et al., 1990, reported, NH_3 decreases when the moisture falls below 30%. Therefore, manure DM content of the current experiment would not limit the NH_3 emission [11].

Table 2. Composition of manure

Composition of the manure	Mean	SD	Min	Max
DM (%)	24.75	3.89	18.84	39.49
pH	7.57	0.60	6.44	8.76
Total N (% DM)	5.60	0.98	3.60	8.39
Amoniacal N (% DM)	2.13	1.09	0.86	5.07
OM (%)	71.74	4.56	55.52	79.84

NH_3 emissions decreased after belt cleaning for 5 hours as reported by Fabbri et al., 2007. At this time the minimum values ($1.8 \text{ mg hen}^{-1} \text{h}^{-1}$) were recorded which were used as time zero [10]. The increasing amount of manure on the belt together with the longer accumulation time explained the potential regression model (Figure. 1)

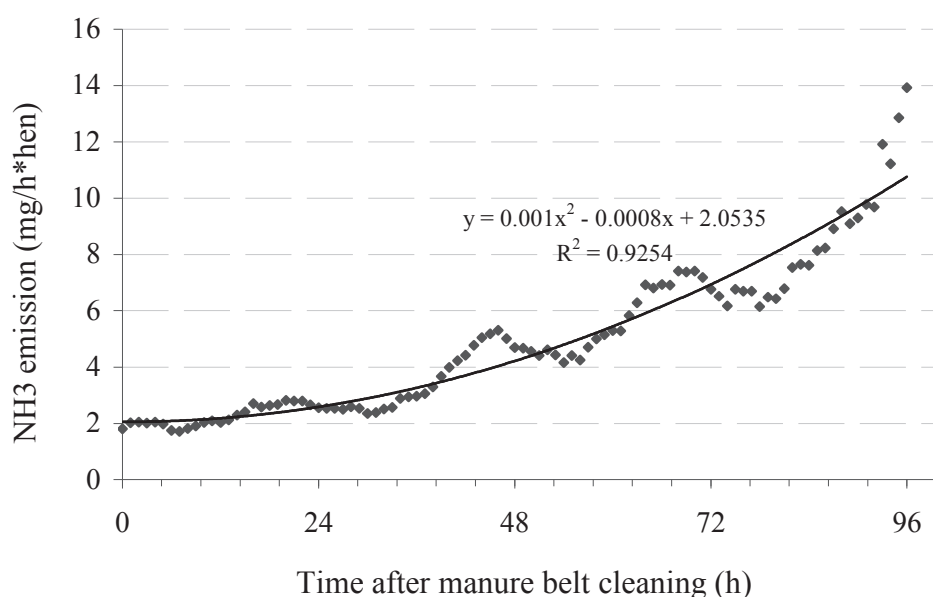


Figure.1 Ammonia emissions after manure belt cleanings (hourly data averaged over all the measuring periods)

A simulation was also conducted in which total NH₃ emission related to different removal frequencies was calculated after 12 days. According to these data, Table 3 shows the reduction (%) on NH₃ emission due the increasing removal frequencies. Results demonstrated that increasing the extraction frequency in one day could overall reduce NH₃ losses around 25%. Reducing from 4 to 2 days and from 3 to 1 day reduced NH₃ emissions over 40%.

Table 3. Reduction of NH₃ emission (%), increasing the frequency of belt cleaning (simulated frequency) with respect to management manure in a reference scenario.

		Simulated Frequency			
		Every 4 days	Every 3 days	Every 2 days	Every 1 days
Reference scenario	Every 4 days	-	26,0	44,6	55,9
	Every 3 days		-	25,2	40,4
	Every 2 days			-	20,3
	Every 1 days				-

Conclusion and perspectives

The NH₃ emission is highly dependent upon belt cleaning frequency. Thus, increasing cleaning frequency could be a realistic best available technique to reduce NH₃ emissions in laying hen houses.

References

- [1] Nicholson FA, Chambers BJ, Walker AW, 2004. Ammonia Emission from Broiler Litter and Laying Hen Manure Management Systems. Biosystems Engineering 89, 175-185.
- [2] Brunsch R, Hornig G, Muller HJ, Jelinek A, 2002. Emission from Laing hens kept in battery cages and aviary systems. Proceedings of International conference Ageng 2002 Budapest, 189-190.

- [3] Gustafsson G, 2002. Reducing ammonia release in floor housing systems for laying hens by daily manure removal of manure below slatted floor. Proceeding of International Conference Ageng 2002 Budapest, 187-188.
- [4] Von Wachenfelt E, Pedersen S, Gustafsson G, 2001. Release of heat, moisture and carbon dioxide in aviary system for laying hens. British Poultry science 42, 171-179.
- [5] Groot Koerkamp PWG, 1994. Review of emissions of ammonia from housing systems for laying hens in relation to sources, processes, building design and manure handling. Journal of Agricultural Engineering Research 59, 73-87.
- [6] Chepete J.H, Xin H, Li H, 2011. Ammonia Emissions of Laying-Hen Manure as Affected by Accumulation Time. J.Polt. Sci. 48, 133-138.
- [7] Liang Y, Xin H, Wheeler EF, Gates RS, Li H, Zajackowski JS, Topper PA, Casey KD, Behrends BR, Burhnam JD, Zajackowski FJ, 2005. Ammonia emissions from U.S. Laing hen houses in Iowa and Pennsylvania. Transactions of the ASAE 48, 1927-1941.
- [8] Wathes CM, Holden MR, Sneath RW, White RP, Phillips VR, 1997. Concentrations and emission rates of aerial ammonia, nitrous oxide, methane, carbon dioxide, dust, and endotoxin in U.K. broiler and layer houses. British Poultry Science 38, 14-28.
- [9] Calvet S, Cambra-López M, Blanes-Vidal V, Estellés F, Torres A.G, 2010. Ventilation rates in mechanically ventilated commercial poultry buildings in Southern Europe: Measurement system development and uncertainty analysis. Biosystems Engineering 106, 423-432.
- [10] Fabbri C, Valli L, Guarino M, Costa A, Mazzotta V, 2007. Ammonia, methane, nitrous oxide and particulate matter emissions from two different buildings for laying hens. Biosystems Engineering 97, 441-455.
- [11] Carr LE, Wheathon FW, Douglass LW, 1990. Empirical models to determine ammonia concentrations from broiler chicken litter. Transaction of the ASAE 25, 413-424.

Acknowledgements

The study was carried out within the framework of BATFARM (2009-071) project, funded by Interreg Atlantic Area Programme

Poster

INTRODUCTION

- Ammonia (NH₃): Main pollutant gas in poultry operations.
- Few studies available at different climate conditions such as those in Southern Europe.
- Objective: to quantify NH₃ emissions from a laying hen house and determine the effect of the belt cleaning frequency on such emissions.

MATERIAL & METHODS

- 52,000 hens housed in a commercial laying hen unit, Gamiz-Fika (northern Spain).
- Ammonia was continuously monitored for 6 months (June'12-December'12).
- Ammonia was measured by a photoacoustic infrared gas analyzer (INNOVA 1412).
- Ventilation rate measured continuously under the usual rearing conditions. Each fan was individually calibrated by a hot wire anemometer, (Testo 425).

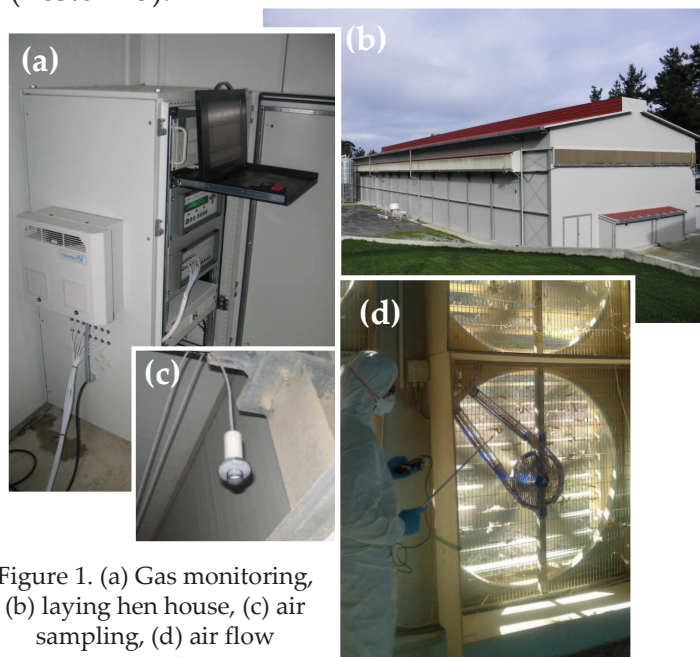


Figure 1. (a) Gas monitoring, (b) laying hen house, (c) air sampling, (d) air flow measuring.

RESULTS

- The minimum NH₃ emission (1.8 mg hen⁻¹ h⁻¹) was registered 5 hours after belt cleaning, which were used as time zero.
- The increasing amount of manure on the belt together with the longer accumulation time explained the potential regression model (Figure 2).

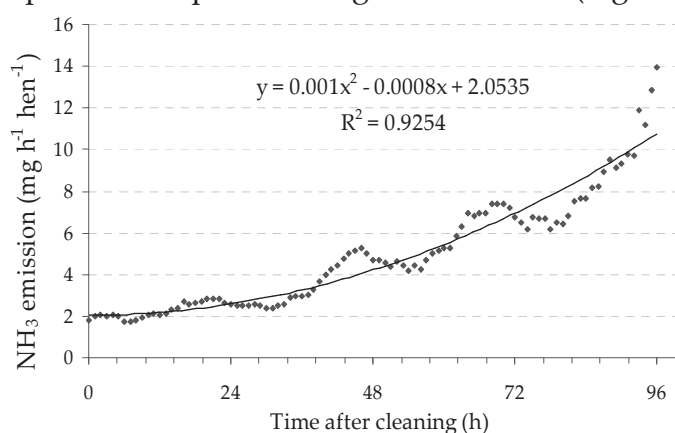


Figure 2. Average NH₃ emission after manure belt cleaning.

- It is estimated that more than 20% of NH₃ emission could be reduced when removal frequency is increased in 1 day (Table 1.).

Table 1. Reduction on NH₃ emission (%), increasing the frequency of belt cleaning (simulated frequency) with respect to a reference scenario.

	Simulated Frequency			
	Every 4 days	Every 3 days	Every 2 days	Every 1 day
Reference scenario	Every 4 days	-	26.0	44.6
	Every 3 days	-	25.2	40.4
	Every 2 days	-	-	20.3
	Every 1 day	-	-	-

CONCLUSION

NH₃ emission is highly dependent upon belt cleaning frequency. Thus, increasing cleaning frequency could be a realistic technique to reduce NH₃ emissions in laying hen houses.

This work has been funded by BATFARM Interreg-Atlantic Area Project (2009-1/071):

Evaluation of best available techniques to decrease air and water pollution in animal farms.

GGAA 2013

Abstract

Daily variation of methane emissions from a laying hen facility in Spain

O Alberdi¹, F Estelles², H Arriaga¹, S Calvet², P Merino¹

¹Neiker, Derio, Bizkaia, Spain, ²Universitat Politècnica de Valencia, Valencia, Valencia, Spain Email: oalberdi@neiker.net

Introduction Literature on methane emissions from laying hen units is scarce. The main objective of this work was to study the hourly pattern of CH₄ emissions in a laying hen facility adapted to the welfare Directive (1999/74/EC) in Spain. In this study, the possible behavioural and management factors that could contribute to CH₄ emissions mitigation were also evaluated.

Material and methods The study was carried out in a commercial laying hen building with approximately 54,000 Lohmann-Brown hens. Animals were housed in a vertical tiered cage system adapted to Directive 1999/74/EC. Measurements were conducted from April to December 2012. Inlet and outlet air temperature and relative humidity were monitored and recorded every 15 min using data loggers (HOBO, U12-013).

Ventilation rate was measured following Calvet *et al.* (2010) methodology. The average percentage of operation of each fan was obtained every 5 minutes. An electronic data logger system converted every second the electric signal from each fan into digital data on fan status. Each fan was individually calibrated for airflow rate at different levels of pressure drop associated to each ventilation programme (2-31 Pa). The air was ducted 30 cm from each fan and the air velocity was measured at 25 different locations in the section using a hot wire anemometer (Testo 425). A ventilation performance curve was obtained according to the average values obtained from all fans. Pressure drop in the building was controlled and recorded every 5 min by a pressure drop meter (Veris PXU-05).

Methane concentrations were measured continuously by a Photoacoustic infrared gas analyser (INNOVA 1412). Air samples were taken from the air stream from 8 exhaust fans and from 4 outdoor points. Methane emission was determined by multiplying the housing ventilation rate times the difference in concentration between the inlet and outlet air.

Results are reported for two months differing in temperatures and thus, ventilation patterns: September, with an average outdoor temperature of 18.6°C and December, with an average temperature of 11.3°C. Ventilation rate was proportional to outdoor temperature ($R = 0.8$ $P < 0.001$), being more than two fold higher in the warmer season with respect to the cold one, with 39.1 and 14.7 % of maximum ventilation rate respectively. Average CH₄ emission from the building did not differ significantly ($P > 0.05$), with 4.3 and 3.8 kg CH₄/day for September and December respectively. Nevertheless, when analysing the daily variation of ventilation and methane emission, we observed a significant effect of the hour of the day ($P < 0.05$) in both periods for both, ventilation and CH₄ emission. Daily differences were found to be higher during the warm period (Fig. 1), as also reported previously (Fabbri *et al.*, 2007).

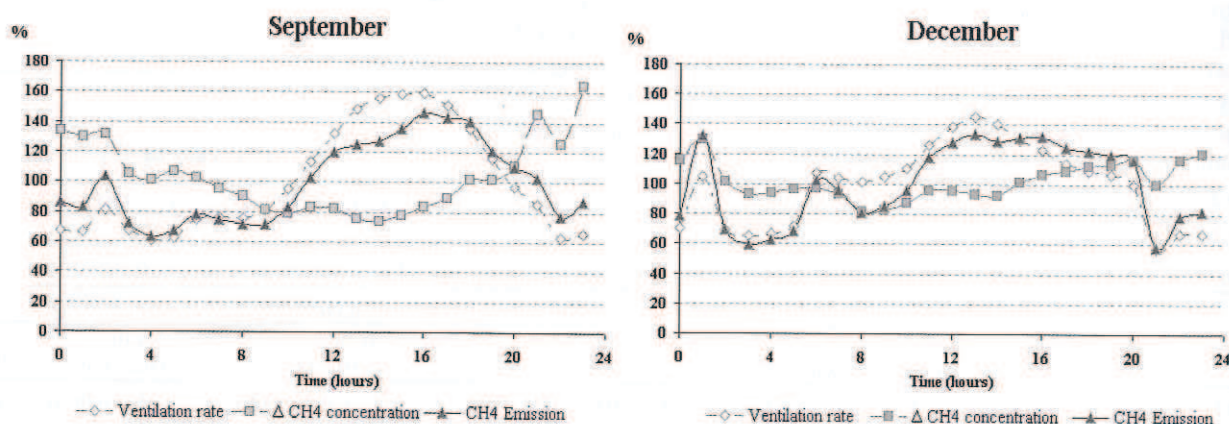


Figure 1 Average daily pattern (hourly average calculated as % of mean value for each day) for each month, of [○] ventilation rate, [■] Δ CH₄ concentration and [▲] CH₄ emission.

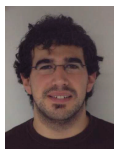
Conclusions CH₄ emissions significantly vary along the day, peaking from 12-19:00pm both, during a warm and cool period.

Acknowledgements This work has been cofinanced by BATFARM Interreg-Atlantic Area Project (2009-1/071) entitled "Evaluation of best available techniques to decrease air and water pollution in animal farms".

References

- Fabbri C, Vallia L, Guarino M, Costa A, Mazzotta V, 2007. Biosystems Engineering. 97, 441-455.
- Calvet S, Cambra-López M, Blanes-Vidal V, Estellés F, Torres A.G, 2010. Biosystems Engineering. 106, 423-432.

Poster



DAILY VARIATION OF METHANE EMISSIONS FROM A LAYING HEN FACILITY IN NORTHERN SPAIN

Alberdi, O.^{1*}, Estellés, F.², Arriaga, H.¹, Calvet, S.², Merino, P.¹

(1) NEIKER-Tecnalia, Environment Quality Department, 48160, Derio (Bizkaia), SP

(2) Universitat Politècnica de Valencia, Institute of Animal Science and Technology, 46022, Valencia, SP

*Corresponding author: oalberdi@neiker.net

INTRODUCTION

- Scarce literature on methane (CH_4) emission from laying hen houses.
- Objective: to study daily pattern of CH_4 emissions in a laying hen facility adapted to the welfare Directive (1999/74/EC) in two periods: cool (December) and mild (September).



Figure 1:

- (a) Laying hen houses,
(b) vertical tiered cage system,
(c) air flow calibration,
(d) gas monitoring system,
(e) air collector.

RESULTS

- Ventilation and CH_4 emission (Figure 2) were affected by the hour of the day for both periods ($P < 0.05$).
- Methane emission was 30-40% higher during light hours ($P < 0.05$).

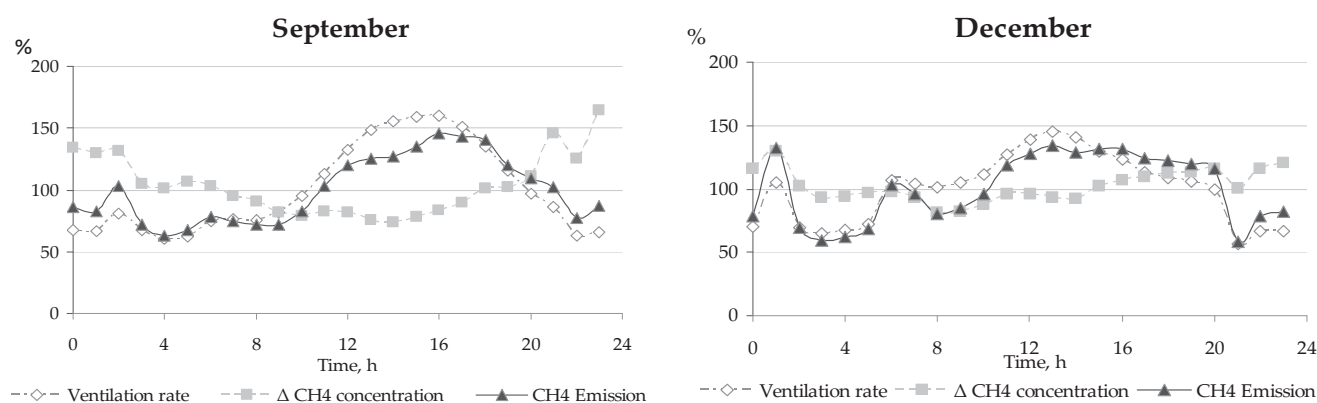


Figure 2. Average hourly pattern (calculated as % of mean value for each day) for each month.

- Average CH_4 emission ($4.0 \text{ kg CH}_4 \text{ day}^{-1}$) did not differ in both periods ($P > 0.05$).
- Ventilation rate was proportional to outdoor temperature ($R^2 = 0.8$ $P < 0.001$), being more than two fold higher in September with respect to December, with 124 and $46 \text{ m}^3 \text{ day}^{-1} \text{ hen}^{-1}$.

CONCLUSION

- CH_4 emission is affected by hourly pattern.
- CH_4 emission increased throughout the light hours.
- There was not seasonality in CH_4 emission.